



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA POLITÉCNICA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS  
ENERGÉTICOS

TRABAJO FIN DE GRADO

*ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS,  
CANTABRIA.*

*STUDY ABOUT THE PARTIAL DESIGN OF A DAM IN LA VEGA DE PAS,  
CANTABRIA.*

DICIEMBRE 2018

AUTOR: Andrea González González.

DIRECTORES: Raúl Husillos Rodríguez.

Rubén Pérez Álvarez.



1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. ALCANCE Y OBJETO. ....	14
3. ESTADO DEL ARTE. ....	16
3.1. DESARROLLO, SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LAS PRESAS EN ESPAÑA.....	16
3.1.1. Desarrollo de las presas en España. ....	16
3.1.2. Situación actual y perspectivas futuras de las presas en España.....	18
3.2. SEGURIDAD EN PRESAS.....	19
3.2.1. Legislación en la seguridad de presas. ....	20
3.2.2. Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses.....	22
3.2.3. Gestión de la seguridad de las presas. ....	23
3.2.4. Clasificación de las presas en función del riesgo potencial.....	23
3.3. CARACTERÍSTICAS, PROBLEMÁTICA Y TIPOS DE PRESAS.....	26
3.3.1. Presas de hormigón.....	26
3.3.2. Presas de materiales sueltos. ....	35
3.3.2.1. Tipos de presas de materiales sueltos. ....	36
3.3.2.2. Los problemas en el proyecto de una presa de materiales sueltos..	42
3.3.3. Tensiones y deformaciones en el cuerpo de una presa.....	43
3.3.4. Movimientos generales de una presa. ....	44
3.3.4.1. Debidos al peso propio.....	44
3.3.4.2. Movimientos debidos a embalse. ....	45
3.3.4.3. Debidos a la compresibilidad de la cimentación.....	45
3.3.5. Estabilidad interna de la presa. ....	45
3.3.6. Fisurabilidad de núcleos de presas.....	46
3.3.6.1. Fisuras longitudinales.....	46
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.	1



3.3.6.2.	Fisuras transversales o despegues entre presa y cimentación.....	47
3.3.6.3.	Otros tipos de fisuras. ....	48
3.3.7.	Sifonamiento en presas. ....	48
3.3.7.1.	Causas y tipos de sifonamiento.....	49
3.3.8.	Filtros. ....	51
3.4.	EXCAVACIÓN Y METODOLOGÍAS DE RELLENO. ....	52
3.4.1.	Excavación mecánica. ....	52
3.4.1.1.	Maquinaria para excavaciones mecánicas.....	52
3.4.1.2.	Proceso de excavación mecánica y ejecución de la presa. ....	58
3.4.2.	Excavación por voladura.....	60
3.4.2.1.	Materiales para voladuras.....	60
3.4.2.2.	Clasificación de los explosivos.....	61
3.4.2.3.	Características generales de los materiales explosivos. ....	65
3.4.2.4.	Elección del explosivo. ....	72
3.4.2.5.	Materiales auxiliares. ....	73
3.4.2.6.	Procedimientos para voladuras y pegas. ....	81
3.4.3.	Terraplenado. ....	87
3.4.3.1.	Zonas de los rellenos tipo terraplén. ....	87
3.4.3.2.	Materiales. ....	88
3.5.	EL SECTOR ENERGÉTICO. ....	91
3.5.1.	La energía hidráulica.....	93
3.5.1.1.	¿Qué es la energía hidráulica? ....	93
3.5.1.2.	Características de la energía hidráulica. ....	94
3.5.1.3.	Historia de la energía hidráulica. ....	98
3.5.1.4.	La energía hidráulica en la actualidad.....	99
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.		2



3.5.1.5.	La energía hidráulica actualmente en España. ....	100
3.5.1.6.	La energía hidráulica en el futuro. ....	104
3.5.2.	Las centrales hidroeléctricas. ....	104
3.5.2.1.	Componentes de una central hidroeléctrica. ....	104
3.5.2.2.	Tipos de centrales hidroeléctricas. ....	112
3.5.3.	Estado de la investigación en instalaciones de generación hidroeléctrica. 116	
	.....	119
4.	CASO DE ESTUDIO: EMBALSE EN LA VEGA DE PAS.....	126
4.1.	SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN.....	127
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO. ....	130
4.2.1.	Situación geográfica de La Vega de Pas. ....	130
4.3.	HIDROGRAFÍA Y ESTUDIO HIDROLÓGICO. ....	131
4.3.1.	El sistema de explotación del Pas Miera. ....	132
4.3.2.	El río Pas.....	132
4.3.3.	Afluente Pandillo. ....	138
4.4.	GEOMORFOLOGÍA. ....	139
4.5.	GEOLOGÍA. ....	141
4.5.1.	Geología en La Vega de Pas.....	143
4.6.	METEOROLOGÍA.....	150
4.6.1.	Clasificación climática de Köppen. ....	150
4.6.2.	Clima en Cantabria. ....	157
4.6.3.	Pluviometría. ....	159
4.6.4.	Vientos.....	165
4.7.	FLORA DE LA ZONA. ....	166
	ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.	3





4.7.1.	Vegetación Climatófila.....	166
4.7.1.1.	Serie climatófila termocolina-colino-montana galaico-asturiana acidófila del Carvallo.....	166
4.7.1.2.	Serie colina cántabro-euskalduna y ovetense, climática meso-eutrofa del fresno (Polystico setiferi-Fraxinetum excelsioris Sigmetum).....	172
4.7.2.	Vegetación edafoxerófila.....	175
4.7.2.1.	Serie edafoxerófila relictas termocolina-colina, cántabro-euskalduna y ovetense, calcícola (Quercus ilex) (Lauro nobilis-Querceto ilicis Sigmentum).....	175
4.7.3.	Vegetación edafohigrófila. ....	178
4.7.3.1.	Serie edafohigrófila termocolina, colina, ovetense, cántabro-euskalduna, aquitano-landesa y ubiñense picoeuropeana del aliso (Alnus glutinosa) (Hyperico androsaemi-Alnetum glutinosae Sigmentum).....	178
4.8.	FAUNA DE LA ZONA. ....	179
4.8.1.	Fauna del río Pas.....	181
4.8.1.1.	Ecosistemas del curso alto del río.....	182
4.8.1.2.	Ecosistemas del curso medio del río.....	184
4.8.1.3.	Ecosistemas del curso bajo de los ríos.....	186
4.9.	PATRIMONIO DE LA ZONA. ....	188
4.9.1.	Arquitectura religiosa.....	188
4.9.2.	Arquitectura civil. ....	188
5.	SOLUCIÓN ADOPTADA Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	190
5.1.	SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA. ....	190
5.2.	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	193
5.3.	DIMENSIONAMIENTO. ....	194
5.3.1.	Cálculo de la altura de la presa.....	194
5.3.2.	Cálculo de la anchura de coronación. ....	196
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.		4



5.3.3.	Cálculo del momento de vuelco de la presa. ....	197
5.3.4.	Cálculo de volúmenes para la realización de la presa.....	200
5.3.5.	Calculo de voladuras.....	214
5.3.6.	Obras auxiliares. ....	225
5.3.7.	Ejecución.....	226
6.	CONCLUSIONES.....	228
7.	BIBLIOGRAFÍA. ....	229
7.1.	WEBGRAFÍA.....	229



## INDICE DE TABLAS.

Tabla 3-1: Evolución del número de presas en España. (fuente: <a href="http://www.mapama.org.es">www.mapama.org.es</a> ).	18
Tabla 3-2: Total de Presas. (Fuente: <a href="http://www.mapama.gob.es">www.mapama.gob.es</a> ).	25
Tabla 3-3: Presas de titularidad estatal. (Fuente: <a href="http://www.mapama.gob.es">www.mapama.gob.es</a> ).	25
Tabla 3-4: Presas de concesionarios. (Fuente: <a href="http://www.mapama.gob.es">www.mapama.gob.es</a> ).	26
Tabla 3-5: Características de los suelos en relación a su uso en presas de tierra. (Fuente: Suárez, 1993).	36
Tabla 3-6: Clasificación según la tipología de las presas españolas. (Fuente: <a href="http://www.mapama.org.es">www.mapama.org.es</a> ).	41
Tabla 3-7: Categorías de los humos nocivos.	70
Tabla 3-8: Principales ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas.	97
Tabla 3-9: Principales títulos existentes de turbinas.	99
Tabla 4-1: Características de los climas.	153
Tabla 4-2: Estaciones más próximas a La Vega de Pas. (Fuente: <a href="http://www.aemet.es">www.aemet.es</a> ).	160
Tabla 4-3: Valores medios de precipitación en la estación del aeropuerto de Santander entre 1981 Y 2010. Fuente: ( <a href="http://www.aemet.es">www.aemet.es</a> ).	160
Tabla 5-1: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa I de la presa.	201
Tabla 5-2: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa II de la presa.	201
Tabla 5-3: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa III de la presa.	202
Tabla 5-4: Cubicación de la zona de estudio para la realización de la presa.	205
Tabla 5-5: Cálculo de volumen para la cimentación de la presa.	209
Tabla 5-6: Cálculo de volumen para el relleno de la presa.	210



## INDICE DE FIGURAS.

Figura 3-2: Presa de Willow Creek en Oregón. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	28
Figura 3-1: Presa Grand Coulee en el río Columbia, Estado de Washington. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> )	28
Figura 3-3: Presa Gordon en Tasmania, Australia. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	29
Figura 3-4: Presa de Roselend en Beaufortain, Francia. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	30
Figura 3-5: Presa Daniel Johnson en Quebec. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	31
Figura 3-6: Presa Bartlett en río Verde, Arizona. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	32
Figura 3-7: Presa Oymapinar en el río Manavgat, Turquía. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	33
Figura 3-8: Presa Hoover en la frontera entre Nevada y Arizona. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	34
Figura 3-9: Sección transversal de una presa homogénea. (Fuente: <a href="http://www.pixabay.com">www.pixabay.com</a> ).	38
Figura 3-10: Sección transversal de una presa zonada.	39
Figura 3-11: Bulldozer. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	53
Figura 3-12: Excavadora. (Fuente: <a href="http://www.pixabay.com">www.pixabay.com</a> Bajo licencia CC0 Creative Commons)	54
Figura 3-13: Pala cargadora de ruedas. (Fuente: <a href="http://www.pixabay.com">www.pixabay.com</a> Bajo licencia CC0 Creative Commons).	54
Figura 3-14: Compactadora. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	56
Figura 3-15: Motoniveladora. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	57
Figura 3-16: Dumper extravial rígido. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	58
Figura 3-17: Representación del proceso del método de Traulz. Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura “Laboreo I”. Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”.	67
Figura 3-18: Método de Hess. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura “Laboreo I”. Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”.	70
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.	7



Figura 3-19: Detonador eléctrico. Fuente: Fuente: Pérez Álvarez y Berasategui Moreno (2016). Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado del I Manual de Empleo de Explosivos. UEE/MAXAM. ....	75
Figura 3-20: Detonador electrónico. Fuente: Fuente: Pérez Álvarez y Berasategui Moreno (2016). Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado de: Ríos Vázquez, 2009, «Curso Básico de Explosivos». ....	78
Figura 3-21: Detonador no eléctrico. Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado del I Manual de Empleo de Explosivos. UEE/MAXAM. ....	80
Figura 3-22: Principales sectores a distinguir en una voladura subterránea de avance. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura “Laboreo I”. Adaptado de: Ríos Vázquez, 2009, «Curso Básico de Explosivos». ....	83
Figura 3-23: Principales parámetros geométricos de las voladuras en banco. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura “Laboreo I”. Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”. ....	85
Figura 3-24: Consumo de energía primaria en España. (Fuente: <a href="http://www.energia16.com">www.energia16.com</a> ) .....	92
Figura 3-25: Producción interna de energía primaria en España en el año 2015. (Fuente: <a href="http://www.ine.es">www.ine.es</a> ) .....	93
Figura 3-26: Estructura de generación mensual peninsular. Fuente: ( <a href="http://www.ree.es">www.ree.es</a> ).	101
Figura 3-27: Evolución de la generación renovable peninsular. Fuente: ( <a href="http://www.ree.es">www.ree.es</a> ). .....	102
Figura 3-28: Evolución del peso de la generación renovable y no renovable peninsular. Fuente: ( <a href="http://www.ree.es">www.ree.es</a> ). ....	102
Figura 3-29: Reservas hidroeléctricas. Fuente: ( <a href="http://www.ree.es">www.ree.es</a> ). ....	102
Figura 3-30: Centrales hidroeléctricas en España. Fuente: ( <a href="http://www.elperiodicodelaenergia.com">www.elperiodicodelaenergia.com</a> ). ....	103
Figura 3-31: Aliviadero en superficie. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ) .....	106
Figura 3-32: Desagüe de fondo. (Fuente: <a href="http://www.flickr.com">www.flickr.com</a> ). ....	107
Figura 3-33: Tubería forzada. (Fuente: <a href="http://ecovive.com">http://ecovive.com</a> ) .....	108



Figura 3-34: Turbina Pelton. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).....	110
Figura 3-35: Turbina Francis. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).....	111
Figura 3-36: Turbina Kaplan. (Fuente: <a href="http://www.zeco.it">www.zeco.it</a> ).....	112
Figura 3-37: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a plantas hidroeléctricas localizados en la plataforma Scopus. ....	117
Figura 3-38: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a plantas hidroeléctricas localizados en la plataforma Web of Science. ....	118
Figura 3-39: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 1994-2017 en base a su naturaleza. ....	119
Figura 3-40: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 2010-2017 en base a su naturaleza. ....	119
Figura 3-41: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Scopus.....	121
Figura 3-42: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Web of Science. ....	121
Figura 3-43: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a presas de tierra localizados en la plataforma Web of Science. ....	122
Figura 3-44: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 2009-2017 en base a su naturaleza. ....	123
Figura 3-45: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Web of Science. ....	124
Figura 3-46: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a presas de tierra localizados en la plataforma Scopus.....	124
Figura 3-47: Distribución de documentos indexados en Scopus durante el periodo 2014-2018 en base a su naturaleza. ....	125
Figura 3-48: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Scopus.....	125
Figura 4-1: Ortoimagen de la zona objeto de estudio. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).....	128



Figura 4-2: Ortoimagen de la zona de estudio, con indicación de los cauces fluviales. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).	129
Figura 4-3: Ortoimagen de la zona de estudio. Detalle del Arroyo del Pandillo. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).	129
Figura 4-4: MDT de la zona de estudio. Arroyo del Pandillo. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).	130
Figura 4-5: Mapa físico de la cuenca del Pas. (Fuente: <a href="http://www.dmacantabria.cantabria.es">www.dmacantabria.cantabria.es</a> ).	134
Figura 4-6: Rio Pas a su paso por Corvera de Toranzo. (Fuente: <a href="http://www.chcantabrico.es">www.chcantabrico.es</a> ). .....	136
Figura 4-7: Rio Pas a su paso por Puente Viesgo. (Fuente: <a href="http://www.chcantabrico.es">www.chcantabrico.es</a> ). ...	137
Figura 4-8: Rio Pas a su paso por Puente Viesgo. (Fuente: <a href="http://www.chcantabrico.es">www.chcantabrico.es</a> ). ...	138
Figura 4-9: Subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: <a href="http://www.dmacantabria.es">www.dmacantabria.es</a> ).	139
Figura 4-10: Altitud media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: <a href="http://www.dmacantabria.es">www.dmacantabria.es</a> ).	140
Figura 4-11: Pendiente media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: <a href="http://www.dmacantabria.es">www.dmacantabria.es</a> ).	141
Figura 4-12: Mapa geológico de la zona de estudio. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ). .....	147
Figura 4-13: Columna estratigráfica. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).	148
Figura 4-14: Leyenda estatigráfica. (Fuente: <a href="http://www.mapas.cantabria.es">www.mapas.cantabria.es</a> ).	149
Figura 4-15: División de Köppen. Fuente:( <a href="http://www.geografiagenral.blogspot.com.es">www.geografiagenral.blogspot.com.es</a> ) .	152
Figura 4-16: Clasificación climática de Köppen (1981-2010). Fuente:( <a href="http://www.meteoillesbalears.com">www.meteoillesbalears.com</a> ) .	156
Figura 4-17: Régimen pluviométrico de Cantabria. Fuente: ( <a href="http://www.aemet.es">www.aemet.es</a> ) .	162
Figura 4-18: Climograma precipitación-temperatura de Santander en el año 2015. (Fuente: <a href="http://www.meteocantabria.es">www.meteocantabria.es</a> ) .	164
Figura 4-19: Climograma precipitación-temperatura de Santander entre los años 1997 y 2015. (Fuente: <a href="http://www.meteocantabria.es">www.meteocantabria.es</a> ) .	164
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.	10



Figura 4-20: Bosque con Hayas. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	167
Figura 4-21: Perales (Pyrus). (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> )	168
Figura 4-22: Brezales. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	169
Figura 4-23: Cytisus striatus. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	170
Figura 4-24: Prado de siega en Cantabria. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	171
Figura 4-25: Fresno. (Fuente: <a href="http://www.wikipedia.org">www.wikipedia.org</a> ).	173
Figura 5-1: Representación de la presión ejercida por el agua de la presa sobre la pared de ésta.	199
Figura 5-2: Sección transversal de la presa del estudio.	200
Figura 5-3: Perfil longitudinal del terreno topográfico original.	204
Figura 5-4: Perfil longitudinal del terreno topográfico con la presa incluida.	204
Figura 5-5: Vista en planta de la zona de estudio sin modificar.	212
Figura 5-6: Vista en planta de la presa estudio.	213
Figura 5-7: Esquema de un detalle de la voladura en banco. El número total de barrenos y filas debería limitarse en base al volumen total de producción deseado.	217
Figura 5-8: Principales parámetros geométricos de las voladuras en banco. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura “Laboreo I”. Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”.	217
Figura 5-9: Voladura con barrenos verticales. Diámetro del barreno 0,089 m; Espaciamiento 3,97 m; Piedra práctica: 3,18 m.	219
Figura 5-10: Secuenciación de voladuras. Elaboración propia. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 5-11: Estructura de los barrenos en la voladura. Elaboración propia.	220
Figura 5-12: Esquema de voladura en trinchera para apertura de hueco inicial. Diámetro del barreno 0,89 m; Espaciamiento 3,97 m; Piedra práctica: 3,18 m. (Se aconseja iniciación en espiral de los barrenos, de la parte central de la voladura a los extremos)	220
Figura 5-13: Esquema de voladura de escollera. Diámetro del barreno: 0,89 m; espaciamiento: 5,7 m; Piedra práctica: 0,89 m.	223
Figura 5-14: Sección de una de las galerías de evacuación.	226
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.	11





## 1. INTRODUCCIÓN.

El estudio que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado es un reflejo de las muchas opciones y posibilidades que ofrece la instalación o construcción de una presa en un lugar determinado.

Los ámbitos que la presa favorece van desde la acumulación de agua de lluvia para el abastecimiento de la zona poblacional e industrial que rodea la presa hasta el posible aprovechamiento lúdico de la misma, instalando en ella diferentes actividades de ocio, pasando por la generación de energía hidroeléctrica.

Como se ha mencionado anteriormente, una de las razones que favorecen la instalación o construcción de una presa es el abastecimiento de agua a las zonas adyacentes. En el caso de la presa que se plantea en este estudio, se pretende un abastecimiento tanto industrial como poblacional de las zonas aguas debajo de la presa. En el abastecimiento poblacional se incluye el sector ganadero y el sector agrícola de la zona.

Otra de las funciones que puede tener una presa es la generación de energía hidroeléctrica, aprovechando la fuerza del agua que embalsa al pasar por unas turbinas para generar la energía. La energía hidroeléctrica existe ya desde hace siglos, aunque las instalaciones y los procesos que la generan han ido evolucionando inevitablemente con el paso de los años, llegando a las actuales centrales hidroeléctricas.

En la actualidad, las reservas hídricas de los embalses españoles están sufriendo un descenso considerable, debido a la continua demanda de agua por los usuarios y los distintos sectores de la sociedad y por otro lado el descenso de las precipitaciones, que imposibilita la recarga de agua de los embalses.

Este descenso en las precipitaciones se debe al cambio climático que acontece actualmente, cuyas consecuencias más graves se están viendo en la actualidad, pero llevan años existiendo, aunque en menor medida, provocando entre otros efectos, las sequías, que constituyen uno de los mayores problemas debido a que el agua es un



recurso natural escaso e imprescindible para la vida, principalmente, y para las actividades que lleva a cabo la sociedad actual.

Por último, y no por ello menos importante, el uso de la presa como un lugar de ocio se hace cada vez más necesario y solicitado por parte de la población. Un ejemplo de ello son las presas de Tanes y Rioseco en el municipio de Caso, en Asturias, donde los vecinos de la zona reivindican el uso recreativo del agua acumulado en las presas. En Salamanca, por ejemplo, la población ya puede disfrutar del embalse de Almendra, donde pueden bañarse y pescar.

Pero el uso que puede dar la población a los embalses puede ser otro a parte de bañarse y pescar en él. Como es bien sabido, el agua es necesario para la vida, toda la biodiversidad que rodea la zona del embalse también se aprovecha del mismo para abastecerse de agua, por lo que será una zona rica en flora y fauna. Para aprovechar un ambiente idílico como el anteriormente mencionado se pueden hacer rutas alrededor de la zona de la presa, donde la población disfrute de la flora y de la fauna autóctona.



## 2. ALCANCE Y OBJETO.

El presente Trabajo Fin de Grado plantea el diseño de una presa a ubicar en el Término Municipal de Vega de Pas. Los aspectos que han sido contemplados en dicho diseño son la selección de una ubicación en una zona determinada de la Vega de Pas, y la adaptación de la viabilidad hidráulica en términos de capacidad volumétrica de la misma. Se procederá por tanto a la determinación de espacios afectados, procurando tanto sea posible, que las afecciones negativas a la regulación del curso hidráulico y por último la demanda de recurso hídrico por parte de la población, y una futura utilización de dicha presa con diversos fines sociales o de ocio, todos ellos enfocados en pos de alcanzar un desarrollo sostenible y un impacto positivo en el desarrollo de las poblaciones circundantes de la propia zona de estudio.

Como se mencionó anteriormente, el objeto de este Trabajo Fin de Grado reside en el diseño parcial de una presa que se ubicará en La Vega de Pas, termino municipal de la Comunidad Autónoma de Cantabria. La ejecución de la infraestructura cuyo diseño es objeto del presente Trabajo Fin de Grado, implicará tanto un incremento en las reservas hídricas disponibles de la zona, aspecto de gran importancia en épocas como la experimentada en el momento de redacción del presente documento, además de resultar posible la inserción de dicha presa y el embalse asociado al mismo como parte integrante de sistemas generadores de energía.

Este Trabajo Fin de Grado no solo desarrolla la ejecución de la infraestructura de la presa sino que además desarrolla los ámbitos referidos a la caracterización del medio y ejecución de voladuras, la forma de construcción, además de las características geológicas, geomorfológicas, hídricas, etc.

El estudio que se ha realizado de esta presa permitirá justificar, según la demanda social, el abastecimiento de agua para tierras de cultivo y ganado, el abastecimiento de agua

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 14



para consumo humano y por último y no menos importante, el aprovechamiento de esa agua embalsada para la generación de energía mediante la implantación de una central hidroeléctrica.



### 3. ESTADO DEL ARTE.

En este apartado se van a desarrollar aspectos referentes a la meteorología, donde se analizará desde las precipitaciones hasta la temperatura y el viento que afecta a la zona estudio y se realizará una comparativa de la zona de estudio con la clasificación climática de Köppen. Por otro lado, se explicará todo lo referente a presas, desde el desarrollo, la situación actual y las perspectivas de futuro de las presas hasta la seguridad en las mismas, pasando por los tipos de presas que hay, sus características y la problemática de estas. La excavación y las metodologías de relleno es otro de los puntos que se van a desarrollar en el estado del arte, diferenciando claramente entre el método mecánico y el método por voladura. Por ultimo se van a desarrollar temas relacionados con la energía como por ejemplo la energía hidráulica y las centrales hidroeléctricas. Se incluye además un estudio realizado en la Web of Science y en el Scopus.

#### 3.1. DESARROLLO, SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LAS PRESAS EN ESPAÑA.

##### 3.1.1. Desarrollo de las presas en España.

El régimen hidrológico español se caracteriza por una extraordinaria irregularidad. Históricamente, el tránsito continuo de la sequía a la inundación ha constituido, un acicate para la construcción de infraestructuras hidráulicas que suavizaran las desastrosas consecuencias de ambos fenómenos, y que garantizaran la disponibilidad de un recurso tan indispensable para la vida y la actividad económica como es el agua.

España tiene una larga tradición en construcción de presas. Este proceso constructor se extiende desde la época romana y viene marcado por hitos tecnológicos, como la presa arco de Almansa, cuyo origen, continua a día de hoy siendo un misterio, y otras muchas (Elche, Elda, Ontígola, Relleu, Alcantarilla, El Gasco, etc.), debiendo además recordar la actividad española en ultramar. Conviene recordar que desde Méjico se extendió la construcción de presas y regadíos hacia Tejas y California, como atestiguan las pequeñas



presas levantadas alrededor de San Antonio y El Molino, y La Misión, cerca de San Diego y Los Ángeles respectivamente.

Garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente, es uno de los principales problemas a escala planetaria que se deberá resolver en el presente siglo. El uso más eficiente del recurso se consigue mediante técnicas de ahorro, de gestión de la demanda, de reutilización, de uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales, etc. y el empleo de técnicas no convencionales (como la desalinización) constituyen, cada vez más, las líneas de actuación preferentes para la gestión de un recurso tan escaso como preciado. Aun así, la construcción de nuevas presas seguirá siendo necesaria en la misma medida que la optimización en la explotación de los embalses ya existentes.

La armonización de estas infraestructuras con el medio ambiente, así como un férreo control destinado a garantizar su seguridad, serán aspectos cada vez más reclamados por la sociedad.

Debido a la cantidad de presas y periodo de vida útil, la cantidad de embalses en España ha ido aumentando considerablemente, además de la antigüedad de un gran número de ellos, que aún hoy siguen en uso.

En la actualidad el número de grandes presas supera las 1.200, con una capacidad aproximada de 56.000 Hm<sup>3</sup>. De éstas, unas 450 son anteriores a 1960 y más de 100 ya existían en el año 1915.

Estas simples cifras indican que una parte importante los esfuerzos dedicados a la optimización de la red de presas habrán de dedicarse a la conservación y rehabilitación de este inmovilizado de capital social fijo, debiendo mantenerse en unas condiciones de explotación y seguridad adecuadas.



Tabla 3-1: Evolución del número de presas en España. (fuente: [www.mapama.org.es](http://www.mapama.org.es)).

EVOLUCION DEL NUMERO DE PRESAS		
DECENIO	PRESAS	PORCENTAJE
Antes de 1900	55	3,58%
1900-1909	14	0,91%
1910-1919	52	3,38%
1920-1929	41	2,67%
1930-1939	48	3,12%
1940-1949	60	3,90%
1950-1959	161	10,47%
1960-1969	212	13,78%
1970-1979	187	12,16%
1980-1989	164	10,66%
1990-1999	186	12,09%
Posteriores al 2000	45	2,93%

### 3.1.2. Situación actual y perspectivas futuras de las presas en España.

Tradicionalmente las presas han constituido un motor en la economía española, regulando el agua en los embalses lo que provocaba grandes beneficios en diversos sectores como el regadío, abastecimiento a la población, hidroelectricidad e industria.

Todavía en la actualidad, las presas producen grandes beneficios a la economía del país. Todo ello, sin contabilizar uno de los beneficios a los que menos importancia se les da a



priori, pero cuya relevancia es capital, como es la laminación de avenidas. Estas últimas constituyen el riesgo natural más importante en España (2.450 inundaciones en los últimos 500 años) que ha ocasionado numerosas tragedias personales y grandes pérdidas materiales evaluadas en unos 500 millones de euros/año de media, y que se han reducido progresivamente por la contribución de las presas, consideradas como la actuación estructural más importante para el control de las avenidas.

A pesar de los beneficios que las presas representan, suelen existir cada vez más dificultades, a nivel mundial, para llevar adelante los proyectos asociados a la implementación de estas infraestructuras. En España, la satisfacción de las demandas de agua presentes y futuras, a través de la planificación hidrológica es una obligación legal, y aunque gran parte de las demandas de agua están cubiertas actualmente con garantía suficiente, no lo están todas. Es por ello que las presas, junto con otras soluciones alternativas, deben jugar un papel importante para alcanzar ese objetivo.

Por otra parte, las presas tienen una función primordial para paliar los efectos del cambio climático.

Su ejecución deberá adecuarse a las cada vez mayores demandas medioambientales, sociales y de seguridad. Los proyectos de presas deben cumplir criterios de nivel de exigencia creciente en el tiempo para poder llevarse a cabo. A las tradicionales exigencias técnicas y económicas para su aprobación, se van sumando los requisitos para alcanzar el objetivo de viabilidad medioambiental, el cumplimiento del proceso reglado de Evaluación de Impacto Ambiental, dentro del marco de las normativas europeas y las derivadas de su transposición al derecho español.

### 3.2. SEGURIDAD EN PRESAS.

El estudio de la seguridad en una presa es muy complejo por lo que se evalúa por medio de índices parciales, de manera que se estudia y cuantifica una parcela aislada de seguridad. El estudio se sustenta en la experiencia de accidentes históricos.





La seguridad hidrológica se define como la seguridad que presenta una presa frente a episodios de avenida. El nivel de la lámina de agua se puede ver afectado por las avenidas, la capacidad de desagüe, el buen funcionamiento de válvulas y compuertas, los resguardos establecidos y de la estrategia de laminación adoptada.

La seguridad hidráulica se refiere al buen funcionamiento de los aliviaderos superficiales y los desagües de fondo, en un amplio rango de caudales.

### 3.2.1. Legislación en la seguridad de presas.

La legislación sobre presas es amplia y data de principios del siglo XX. Una lista cronológica de los procesos que se han seguido es:

- Ley de Aguas de 1879.
- Instrucción para el Proyecto de Pantanos, 1905.
- Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1967.
- Ley de Aguas de 1985.
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil de 1994.
- Reglamento Técnico sobre seguridad de Presas y Embalses de marzo 1996.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.

La Ley de Aguas en sus dos versiones 1879-1985 trata temas referentes al Dominio Público Hidráulico, planificación hidrológica, etc., pero no se menciona expresamente a las presas.

La Instrucción para el proyecto de Pantanos de 1905 fue redactada por una comisión presidida por D. Carlos Cardenal. Es la primera normativa sobre presas en España, cuando el número de embalses era de unos 73.

La rotura de la presa de Vega de Tera, en enero de 1959 obligó a la Administración a crear el Servicio de Vigilancia de Presas, que depende de la Comisaría Central de Aguas.

Este servicio redactó las "Normas Transitorias sobre Vigilancia de Presas". En sus 26 ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 20



artículos hace referencia a la seguridad de las presas en sus distintas fases y llega a mencionar el riesgo potencial.

En ese mismo año, 1959, la Administración del Estado crea la Comisión de Normas para Grandes Presas, adscrita funcionalmente a la Dirección General de Obras Hidráulicas, con el cometido de redactar una instrucción de presas. Esta se aprobó con carácter provisional en 1962, y, después de analizar las sugerencias de diversos Organismos oficiales e institucionales, de manera definitiva, en 1967 aparece la "Instrucción para el Proyecto, Construcción y explotación de Grandes Presas" que a día de hoy sigue en vigor.

En el año 1994, el Consejo de Ministros aprueba la "Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones". Esta Directriz incluye un capítulo específico dedicado a las presas, en el que se incluyen aspectos como la clasificación de las presas ante el riesgo potencial y los Planes de Emergencia de dichas presas.

La Comisión Nacional de Protección Civil, en base a lo establecido en la Directriz Básica, ha desarrollado diversos aspectos de la Directriz para facilitar su implantación y asegurar un correcto funcionamiento. Estos aspectos se han materializado en tres acuerdos elaborados a lo largo del año 2003.

La Dirección General de Obras Hidráulicas aprueba en marzo de 1996 un reglamento de seguridad preparado por la Comisión de Normas para Grandes Presas. Es el "Reglamento Técnico sobre seguridad de Presas y Embalses", en la actualidad continua vigente.

El Reglamento de 1996 y la Instrucción de 1967, ambos parcialmente en vigor, completan la normativa en el campo de la seguridad de las presas. El Reglamento es de aplicación a todas las presas cuyo titular es la Administración del Estado, así como las presas de concesiones administrativas posteriores a la entrada en vigor de dicho Reglamento. La Instrucción lo es para las presas de particulares construidas antes de 1996.

El 16 de enero de 2008 se publica el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en el cual se añade un nuevo título, el VII, que trata de

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 21



la Seguridad de presas, embalses y balsas. El propósito de este capítulo es unificar en una misma norma los criterios de seguridad a aplicar a todas las presas, embalses y balsas, con independencia de dónde se encuentren y quien sea el titular, así como delimitar las competencias de las Administraciones competentes en materia de seguridad.

El Real Decreto 9/2008 dispone la elaboración, redacción y aprobación de tres Normas Técnicas de Seguridad que serán, a partir de su aprobación, los únicos textos legales vigentes, derogando la Instrucción y el Reglamento.

### 3.2.2. Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses.

La Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas de 1967 es un conjunto de criterios fundamentalmente técnicos. Debido a la rápida evolución de la tecnología de presas han sido revisados.

En 1982 se produce la rotura de la presa de Tous y desde la Dirección General de Obras Hidráulicas se decide impulsar la modificación de la Instrucción. Para ello se organizan reuniones entre técnicos, dirigidos por la Comisión Permanente de Normas para Grandes Presas. La dificultad de llegar a un consenso entorpeció la redacción de una norma de seguridad aceptable por la Comisión Permanente para presentarla a la Dirección General de Obras Hidráulicas.

En julio de 1993, la Comisión presentó a la Dirección General de Obras Hidráulicas la Norma sobre Seguridad de Presas y Embalses que, después de varias correcciones, se aprobó el 12 de marzo de 1996 como el "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses".

El nuevo Reglamento tiene un carácter abierto y no incluye preceptos técnicos de detalle, sino criterios organizativos y de control de la seguridad, incluye los nuevos conceptos existentes actualmente en el mundo en materia de seguridad de presas. De esta manera, en lugar de exigir los mismos requisitos de seguridad para todas las presas, como prescribe la Instrucción, el criterio esencial de seguridad consiste en considerar



los daños potenciales que produciría la presa en caso de rotura, clasificar las presas según este criterio en distintas categorías de riesgo y aplicarles criterios de seguridad más o menos exigentes según dicha clasificación. Este Reglamento se aplica, de momento, únicamente a todas las presas nuevas y a las existentes cuya titularidad corresponda al Ministerio de Medio Ambiente.

### 3.2.3. Gestión de la seguridad de las presas.

La normativa vigente establece la necesidad de elaborar una serie de documentos que constituyen los instrumentos de gestión de la explotación y de la seguridad de las presas. Esta documentación consta de:

- Clasificación en función del riesgo potencial.
- Normas de explotación de la presa.
- Plan de emergencia de la presa.
- Revisiones de seguridad de la presa.
- Informes anuales de auscultación.

Dado el carácter de norma marco que tiene el Reglamento, se redactaron unas guías para que facilitasen el trabajo a los técnicos proyectistas y directores de la construcción y explotación de las presas y embalses, así como a la Administración en su labor de análisis y aprobación.

### 3.2.4. Clasificación de las presas en función del riesgo potencial.

Con la aprobación de la Directriz Básica de Protección Civil, se establece la necesidad de clasificar las presas en función del riesgo potencial derivado de su posible rotura. Esta clasificación consiste en evaluar los daños provocados por una eventual rotura de la presa, según los cuales las presas se pueden clasificar en tres categorías:



*Categoría A:* Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

*Categoría B:* Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un número reducido de viviendas.

*Categoría C:* Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales o medioambientales de moderada importancia y solo accidentalmente pérdida de vidas humanas.

Para homogeneizar el proceso de clasificación de presas, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas elaboró en 1996 una Guía Técnica, a partir de la cual se han clasificado ya la práctica totalidad de las presas de titularidad estatal y una gran parte de las presas de titularidad privada.

En el ámbito que compete a la Administración General del Estado, el procedimiento para clasificar una presa en función del riesgo potencial es el siguiente:

- I. El titular elabora una propuesta de clasificación, presentándola en la Confederación Hidrográfica correspondiente para su aprobación.
- II. La Confederación Hidrográfica analiza la propuesta de clasificación, pudiendo solicitar información complementaria al titular o remitirla a la Dirección General del Agua si la considera convenientemente justificada.
- III. La Dirección General del Agua dicta la resolución de aprobación, si procede, comunicándoselo al titular, a la Confederación Hidrográfica y a la Dirección General de Protección Civil.

A continuación, se muestran tres tablas sobre la clasificación de presas y balsas de competencia estatal. Las tablas incluyen los datos relativos a presas, diques de collado



y balsas tanto en proyecto como en construcción y explotación. La fecha de actualización de estas tablas es el 31 de diciembre de 2015.

Tabla 3-2: Total de Presas. (Fuente: [www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es)).

TOTAL DE PRESAS		
CATEGORIA	NUMERO	PORCENTAJE
Categoría A	743	46%
Categoría B	118	7%
Categoría C	762	47%
Total	1623	

Tabla 3-3: Presas de titularidad estatal. (Fuente: [www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es)).

PRESAS DE TITULARIDAD ESTATAL		
CATEGORIA	NUMERO	PORCENTAJE
Categoría A	416	57%
Categoría B	50	7%
Categoría C	261	36%
Total	727	



Tabla 3-4: Presas de concesionarios. (Fuente: [www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es) ).

PRESAS DE CONCESIONARIOS		
CATEGORIA	NUMERO	PORCENTAJE
Categoría A	327	36%
Categoría B	68	8%
Categoría C	501	56%
Total	896	

### 3.3. CARACTERÍSTICAS, PROBLEMÁTICA Y TIPOS DE PRESAS.

Tras el análisis de los principales aspectos legales y administrativos que han de ser tenidos en cuenta en el proceso destinado a la generación de cualquier nueva infraestructura de esta índole, es pertinente realizar una descripción de las principales modalidades que cabe considerar a la hora de diseñar una presa.

#### 3.3.1. Presas de hormigón.

Las presas suelen estar construidas de hormigón, aunque también existen presas realizadas en base a materiales sueltos, si bien son menos frecuentes.

En el caso de las presas de hormigón, éstas cuentan con la particularidad de que este material permite adoptar formas complejas una vez fraguado, dando la posibilidad de optimizar la forma de la presa, aprovechando el peso de ésta, de la manera más eficiente posible, aumentando la capacidad de la presa en su conjunto para resistir el empuje del agua.



Las presas de hormigón pueden ser clasificadas en:

- Presas de gravedad: depende por completo de su propio peso para su estabilidad, es decir, este tipo de presas resisten el empuje horizontal del agua totalmente con su propio peso. Son de perfil triangular, siendo su base más ancha para poder soportar la presión del agua. Debido a su alto nivel de seguridad, esta tipología es una de las presas más usadas. Además, son las presas de mayor durabilidad y que menor mantenimiento requieren.





Figura 3-2: Presa Grand Coulee en el río Columbia, Estado de Washington. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).



Figura 3-1: Presa de Willow Creek en Oregón. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).



- Presas de bóveda: también denominadas presas de doble arco. Emplean curvaturas complejas, con arcos horizontales y verticales, siendo más ligeras que las presas de gravedad, y pudiendo alcanzar mayor altura. Se utilizan en gargantas estrechas.



Figura 3-3: Presa Gordon en Tasmania, Australia. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Presa de contrafuertes: basada en el uso de contrafuertes que permiten ahorrar material constructivo. La cara de la presa esta sostenida por un conjunto de soportes que refuerzan la presa en el lado aguas abajo. La cara de las presas de contrafuerte puede ser plana o curva. Suelen construirse en presas localizadas en valles anchos.

Además, la altura de esta tipología puede aumentarse extendiendo los contrafuertes y las losas. Por esta razón las presas de contrafuertes se usan frecuentemente en los lugares donde se prevé un incremento en la capacidad del vaso.



*Figura 3-4: Presa de Roselend en Beaufortain, Francia. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*



- Presa de arcos múltiples: variante de la presa de contrafuertes. Este tipo de presa consiste en una membrana inclinada que transmite el empuje del agua a una serie de contrafuertes en ángulos rectos al eje de la presa.

Este tipo de presa es más rígida que la de contrafuertes, y por lo tanto exige una cimentación mejor. Los arcos para una presa de arco múltiple se diseñan de la misma manera que para la presa de arco simple, pero comúnmente se ignora la acción del voladizo.

Permite el ahorro de material constructivo, ya que para presas altas su diseño es más económico.



*Figura 3-5: Presa Daniel Johnson en Quebec. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*

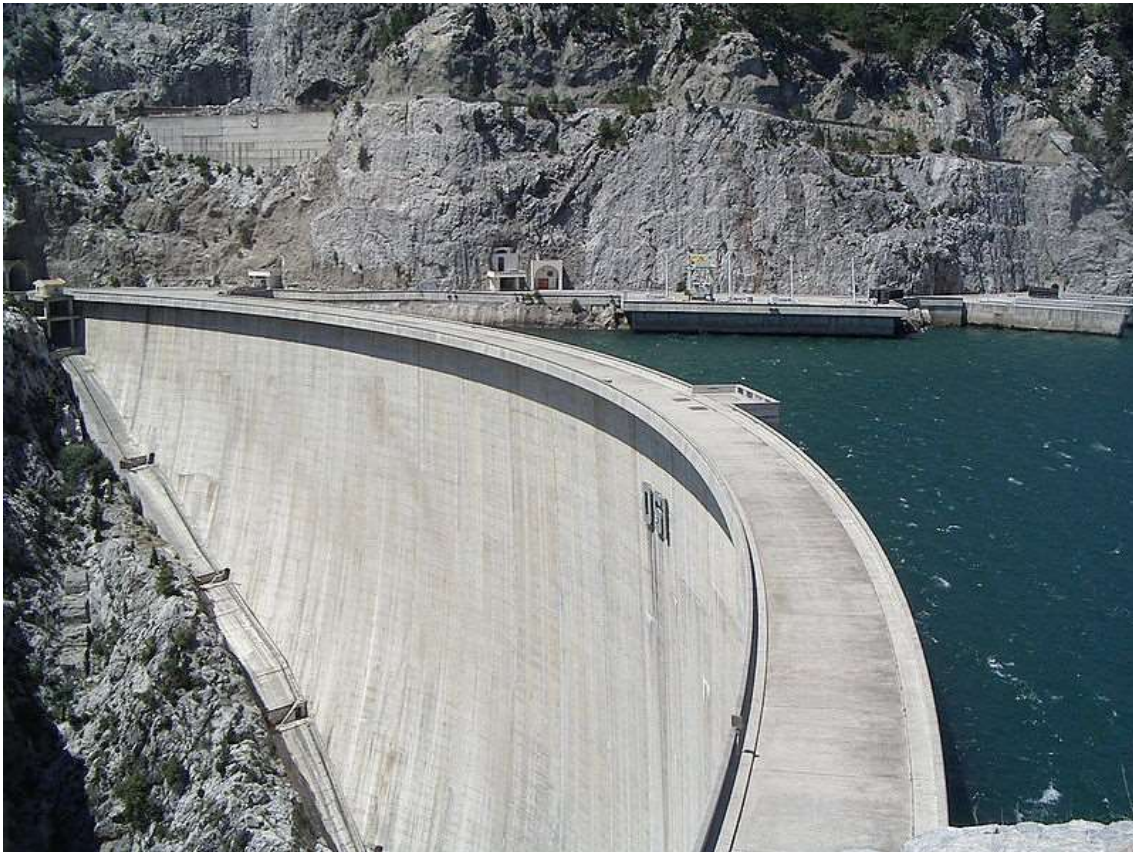


*Figura 3-6: Presa Bartlett en río Verde, Arizona. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*



- Presa de arco sencillo: tiene una considerable curvatura aguas arriba, de la cual depende su resistencia. Es una presa ligera que traslada el empuje a las laderas de un valle y no al lecho de este, por lo que suele ser construida en gargantas estrechas.

Estructuralmente este tipo de presa es más eficiente que las presas de gravedad o las de contrafuerte.



*Figura 3-7: Presa Oymapinar en el río Manavgat, Turquía. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*

- Presa de arco-gravedad: combina las características de ambas presas. Tiene una forma curva para dirigir la mayor parte del esfuerzo contra las paredes de un cañón o de un valle, donde se apoya el arco de la presa. Por otro lado, el muro de contención tiene más espesor en la base, por lo que el peso de la presa permite soportar parte del empuje del agua.



Figura 3-8: Presa Hoover en la frontera entre Nevada y Arizona. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).



### 3.3.2. Presas de materiales sueltos.

Las presas de materiales sueltos son las estructuras de suelo y roca más importantes que el hombre construye y, en muchos casos, las de mayor responsabilidad, por los graves daños que su destrucción puede acarrear aguas debajo de la obra. En España existen hoy más de setenta grandes presas de este tipo. Son muchas las que se encuentran en fase constructiva y numerosas las que serán proyectadas antes de agotarse el potencial hidráulico español.

Las características que debe tener el suelo donde se va a implantar una presa de materiales sueltos pueden verse reflejadas en la siguiente tabla.





*Tabla 3-5: Características de los suelos en relación a su uso en presas de tierra. (Fuente: Suárez, 1993).*

Símbolo de grupo	Propiedades más destacables				Grado de preferencia en presas de tierras compactables (Idoneidad inversa a puntuación)			
					Homo géneas	Zonificada		Fundaciones (Filtraciones sin relevancia)
	Permeabilidad del suelo	Resistencia al corte del suelo compactado y saturado	Compactabilidad del suelo compactado y saturado	Trabajabilidad como material de terraplén		Núcleo	Espaldones	
GW	Permeable	Excelente	Despreciable	Excelente			1	1
GP	Muy permeable	Buena	Despreciable	Buena			2	3
GM	Semi permeable	Buena	Despreciable	Buena	2	4		4
GC	Impermeable	Buena a discreta	Muy baja	Buena	1	1		6
SW	Permeable	Excelente	Despreciable	Excelente			3 si gravosa	2
SP	Permeable	Buena	Muy baja	Discreta			4 si gravosa	5
SM	Semi permeable	Buena	Baja	Discreta	4	5		7
SC	Impermeable	Buena a discreta	Baja	Buena	3	3		8
ML	Semi impermeable	Discreta	Media	Discreta	6	6		9
CL	Impermeable	Discreta	media	Buena a discreta	5	3		10
OL	Semi impermeable	Pobre	Media	Discreta	8	8		11
MH	Semi impermeable	Discreta a pobre	Elevada	Pobre	9	9		12
CH	Impermeable	Pobre	Elevada	Pobre	7	7		13
OH	Impermeable	Pobre	Elevada	Pobre	10	10		14
Pt	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.3.2.1. Tipos de presas de materiales sueltos.

La gran variedad de tipos de suelo y roca existentes en la naturaleza, la cantidad de material disponible para la construcción, las condiciones de los yacimientos o canteras, las meteorológicas y sismológicas y la diversidad de contornos, cerrada y valle, del emplazamiento, tienen como consecuencia una amplísima gama de morfologías y

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.



dimensiones para la sección tipo de la presa. Los modelos más usuales podemos clasificarlos en tres grupos:

a. Presas de tierra homogéneas.

Son las presas en las que toda o casi toda la sección transversal está constituida por un mismo material. Para controlar la salida de la filtración de agua a su través, se han utilizado drenes permeables de muy diferente tipo:

- Un repié aguas abajo.
- Un tapiz horizontal.
- Una chimenea vertical o inclinada, alcanzando o no hasta la coronación, conectadas con un tapiz horizontal en la base.

En este último tipo, sólo una parte de la sección hace el papel de núcleo. En la actualidad, y siempre que el material sea suficientemente poco permeable, existe la tendencia a aproximar el filtro al paramento aguas arriba. Se mejora la estabilidad de ambos paramentos, por lo que a igualdad de coeficiente de seguridad se pueden proyectar unos taludes más estrictos.

En el caso de que la presión del agua intersticial durante la construcción exigiese unos taludes más tendidos que los requeridos por la estabilidad final de la obra, es frecuente proyectar unos filtros horizontales cada cierta altura, de material drenante, que limite la magnitud de aquellas presiones, dejando exenta una parte en el centro que hace la función de núcleo. Los drenes de aguas abajo quedan unidos usualmente por un dren chimenea.

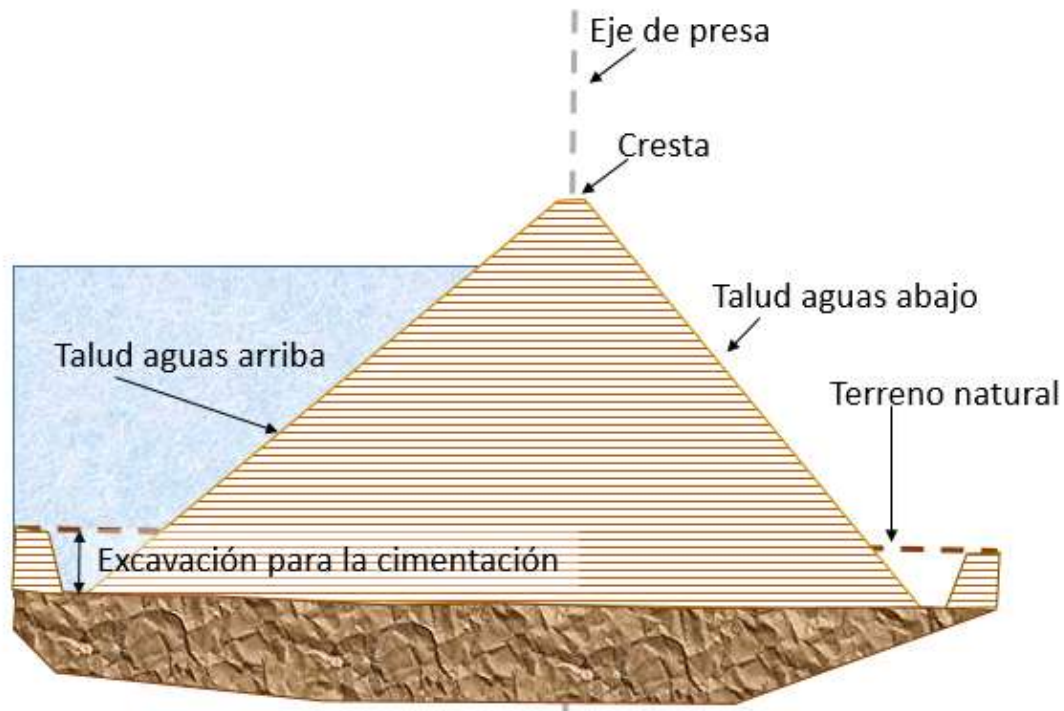


Figura 3-9: Sección transversal de una presa homogénea. (Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com) ).

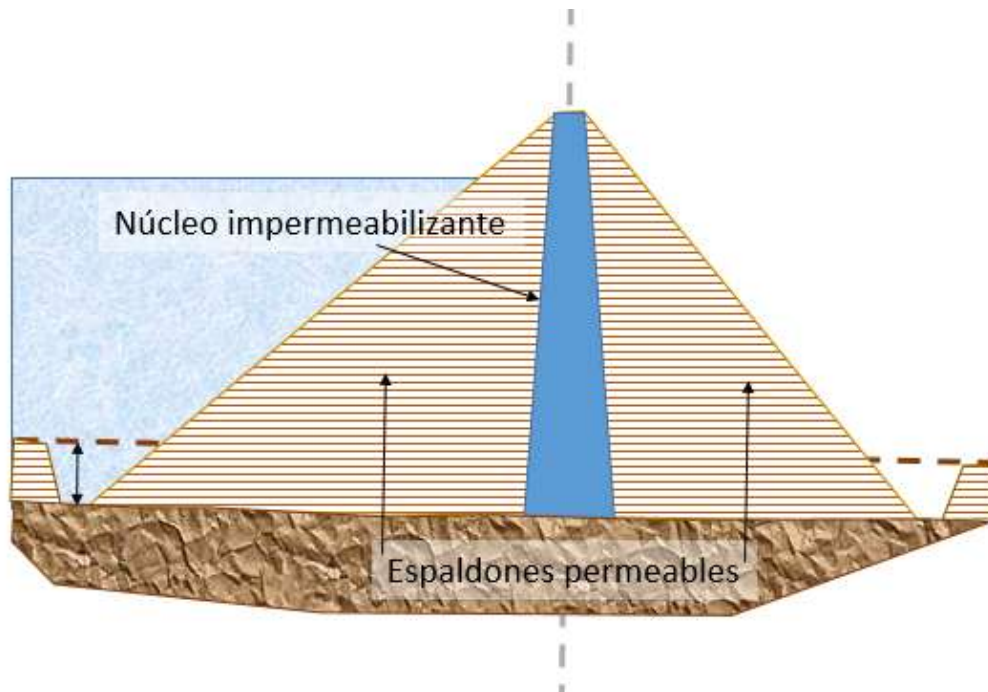
b. Presas zonadas con núcleo de tierra.

Se consideran así las presas constituidas con dos o más tipos de suelo, en las que la zona de menos permeabilidad ejerce las funciones de elemento estanqueizador o núcleo. La anchura de este y su posición dentro de la sección, respecto al resto de materiales o espaldones, es muy diverso. Pueden ser de núcleo central vertical o subvertical, intermedio o exterior constituyendo el paramento de aguas arriba y sus zonas próximas. Todas las situaciones intermedias tienen su representación en presas construidas.

Si el núcleo no es lo suficientemente impermeable, una parte de este puede ser tratada para mejorar esa propiedad.

En otras ocasiones la impermeabilidad de la presa se consigue en el cuerpo de la presa, mediante una cortina de inyecciones a partir de la coronación, de una forma similar a la utilizada para el tratamiento de cimentaciones permeables.

Mezclas de cemento, arcilla o inyecciones de tipo químico han sido utilizadas con este propósito.



*Figura 3-10: Sección transversal de una presa zonada.*

c. Presas de pantalla.

Comprende aquellas presas en las que el elemento estanqueizador es una pantalla relativamente delgada o lámina no terrea. Puede ser interior vertical, inclinada o quebrada, o exterior, constituyendo la piel del paramento de aguas arriba. Los materiales son de una gran diversidad. En la actualidad, los más empleados son:

- En pantallas internas:
  - Hormigón hidráulico.
  - Hormigón asfáltico, árido fino o grueso, ciclópeo o no.
  - Emulsión asfáltica.
  - Hormigones o mezclas plásticas: suelo-cemento, suelo-bentonita, suelo-bentonita-cemento.



- Diafragmas delgados de mezclas plásticas inyectadas.
- Pilotes tangentes de hormigón hidráulico rígido o plástico.
- Tablestacas.
- En pantallas exteriores o muy cercanas al paramento de aguas arriba.
  - Hormigón hidráulico armado.
  - Hormigón asfáltico mono o multicapa.
  - Materiales poliméricos: plásticos-polivinilo, politeno, etc. Cauchos-butilo. Laminas prefabricadas o “in situ” de diversos productos bituminosos.

En presas zonadas o presas de pantalla, si el material rocoso más abundante en los espaldones es de piedra gruesa, suelen denominarse “presas de escollera”.

Los métodos constructivos pueden también influir en la sección tipo.

Si el terreno de cimentación es más permeable que el material del núcleo, la impermeabilización de los estratos más transmisivos se suele efectuar por algunos de los siguientes métodos:

- Sustitución total o parcial de los estratos, mediante zanjas que se rellenan con material similar al del núcleo.
- Prolongación del núcleo con una zona impermeabilizada mediante cortinas de inyecciones.
- Pantallas de los mismos materiales que los mencionados anteriormente para los núcleos internos.
- Cubrición, mediante tapices de material poco permeable, de una cierta longitud del fondo del cauce del río, aguas arriba del núcleo, o en laderas.



Tabla 3-6: Clasificación según la tipología de las presas españolas. (Fuente: [www.mapama.org.es](http://www.mapama.org.es) ).

PRESAS SEGÚN SU TIPOLOGIA		
TIPOLOGIA	NUMERO DE PRESAS	PORCENTAJE
Arco gravedad	48	3,12%
Bóveda	56	3,64%
Bóvedas múltiples	1	0,07%
Contrafuertes	31	2,02%
Gravedad	814	52,93%
Gravedad y contrafuertes	6	0,39%
Gravedad y mampostería	17	1,11%
Gravedad y materiales sueltos homogénea	17	1,11%
Gravedad y materiales sueltos pantalla	4	0,26%
Gravedad y materiales sueltos P. asfáltica	3	0,20%
Hormigón armado	4	0,26%
Hormigón compactado	22	1,43%
Mampostería	23	1,50%
Materiales sueltos homogénea	268	17,43%
Materiales sueltos núcleo arcilla	134	8,71%
Materiales sueltos P. asfáltica	21	1,37%
Materiales sueltos P. hormigón	37	2,41%
Materiales sueltos P. lámina	13	0,85%
Materiales sueltos y mampostería	5	0,33%



Materiales sueltos zonificada	7	0,46%
Presa móvil	1	0,07%

#### 3.3.2.2. *Los problemas en el proyecto de una presa de materiales sueltos.*

Desde el punto de vista de la estructura térrea propiamente dicha, los temas más importantes a los que se debe enfrentar en proyectista se pueden clasificar en tres grupos:

- I. La estabilidad de tipo estático, entendiéndose por tal la necesidad de que el coeficiente de seguridad, frente a un deslizamiento total o parcial que afecte a la presa o a su cimentación, sea aceptable, bajo las fuerzas másicas que actúan de una forma permanente, como son el peso propio de la obra, las fuerzas de filtración y de la presión intersticial del agua, en las diversas circunstancias que se presentan normalmente en la vida de la presa.
- II. La estabilidad de tipo interno, llamando así a la permanencia de la funcionalidad de cada una de las partes de la presa. En especial la del núcleo o pantalla de impermeabilización. Problemas como la fisuración, erosión externa, pero principalmente la interna o sifonamiento, preocupan cada vez más a los técnicos de presas. La dispersabilidad de los materiales, su deformabilidad, su colapsabilidad, la geometría de la sección tipo y de los contornos de la obra, juegan un papel decisivo en su correcto funcionamiento.
- III. La estabilidad de tipo dinámico, en aquellos casos en los que la sismicidad del emplazamiento sea de tener en cuenta; si bien la mayor parte de las veces esta sollicitación se transforma en otra de tipo estático equivalente, en casos especiales o importantes, es preciso efectuar un análisis verdaderamente dinámico del comportamiento de la obra.



### 3.3.3. Tensiones y deformaciones en el cuerpo de una presa.

El conocimiento de la distribución de tensiones y deformaciones en la presa y en su cimentación es de considerable importancia en muchos casos, ya que influye de una forma decisiva en diversos aspectos esenciales para el comportamiento de la obra, como, por ejemplo:

- Las presiones del agua intersticial durante y al final de la construcción, y en consecuencia a la estabilidad en esta época de la vida de la presa.
- En los movimientos post-constructivos generales, y en especial de su coronación, determinantes de la conservación de los resguardos externos e internos.
- Previsión de las zonas en las que puedan existir fisuraciones y sifonamientos.
- Movimientos en los planos o zonas próximas a las pantallas de impermeabilización, con objeto de prever su comportamiento.
- Acciones sobre las obras anejas en contacto con la obra de tierra.

En líneas generales, se trata de un problema tridimensional. No obstante, en presas largas en comparación con su altura, la zona central presenta un estado de tensiones que puede considerarse bidimensional, en deformación plana. Pero si la presa es corta, o se pretende analizar las áreas próximas a los estribos, en cualquier caso, en especial si son relativamente pendientes, el efecto de las deformaciones en dirección normal al río es importante, y su influjo no puede ser despreciado.

Las acciones fundamentales son el peso propio de la obra, y la debida al embalse. En circunstancias especiales la acción sísmica puede ser también importante.

Los factores que influyen preponderadamente en el espectro de tensiones y deformaciones son los siguientes:

- Los materiales del cuerpo de la presa y de su cimentación, la relación tensión-deformación de estos y sus propiedades reológicas.
- La morfología y altura de la presa. De una manera aproximada se puede considerar que las tensiones y deformaciones unitarias son proporcionales a la altura y los movimientos al cuadrado de ésta.





- La secuencia y la velocidad de construcción, y del embalsado.

### 3.3.4. Movimientos generales de una presa.

#### 3.3.4.1. *Debidos al peso propio.*

Una presa se construye normalmente en tongadas, con anchura decreciente hacia la coronación. Si se fija la atención en una capa en particular, la colocación de las inmediatas origina un estado de tensiones y deformaciones tipo edométrico, con movimientos nulos o casi nulos en dirección horizontal; solamente la zona situada hacia los extremos puede tener corrimientos apreciables hacia el exterior. A medida que progresa la obra, la tongada en cuestión recibe, tensiones tangenciales en planos horizontales, lo que induce una deformación y unos movimientos en esta dirección, cada vez más acusados. En consecuencia, la trayectoria que sigue un punto en el espacio, integral de las deformaciones de la masa de suelo situada por debajo, es vertical en su comienzo, derivando paulatinamente hacia el paramento más cercano al progresar la construcción.

Si la presa tiene un núcleo vertical, y el material de este es más deformable que los espaldones, los movimientos en él se verán más acentuados. Como consecuencia de esto, puede haber existencia de un corrimiento relativo entre ambas partes de la obra. La zona de contacto entre ellas experimenta unos esfuerzos tangenciales considerables, lo que se traduce en los dos siguientes puntos más interesantes:

- Existencia de una zona en el material más débil, el núcleo, que ha agotado su resistencia, a través de la cual el gradiente de deformaciones es importante.
- Transferencia, por rozamiento, de una parte del peso del núcleo hacia los filtros o espaldones, por lo tanto queda descargado parcialmente.



#### *3.3.4.2. Movimientos debidos a embalse.*

La presión del agua sobre la pantalla o el núcleo acentúa, por una parte, los movimientos verticales del conjunto de la presa, y por otra, induce unos movimientos horizontales, poco importantes en el eje durante la construcción.

#### *3.3.4.3. Debidos a la compresibilidad de la cimentación.*

Las deformaciones propias del cuerpo de la presa imponen en su base, no solo unas fuerzas verticales, sino también unos esfuerzos tangenciales cuyo máximo se encuentra hacia la parte media de los espaldones. Si en el valle del río existen unos acarrees de mayor o menor compresibilidad y potencia, su deformación sigue el mismo sentido que los propios del terraplén, por lo que ellos movimientos de este quedan acentuados. Los asentamientos son máximos en el centro de la presa, pero los corrimientos horizontales se desarrollan en las cercanías de los pies de los paramentos. En estas zonas el cuerpo de la presa queda descomprimido, e incluso, traccionado, si el material es cohesivo, con el consiguiente peligro de agrietamiento, si en ellos se sitúa el núcleo.

Por otra parte, si la permeabilidad de los depósitos del valle es baja, su consolidación puede diferirse al periodo constructivo. En consecuencia, a todos los movimientos de la cimentación quedan reflejados en la totalidad de la obra, y especialmente en coronación.

#### *3.3.5. Estabilidad interna de la presa.*

La eventualidad de una fisuración, como primer paso de un sifonamiento o la aparición de este fenómeno sin agrietamiento previo a través del elemento de estanqueidad de la obra, es uno de los temas que preocupa más al proyectista de presas de materiales sueltos en la actualidad.

La previsión de la aparición y alcance del sifonamiento permite al ingeniero adoptar las medidas morfológicas y constructivas, que puedan evitar aminorar los efectos subsiguientes. En la mayor parte de los casos las aperturas de fisuras se corresponden



con la existencia de unas tracciones y elongaciones en un campo tridimensional de contornos irregulares y muy relacionado con las propiedades reológicas de los materiales constituyentes, sobre los cuales la mecánica del suelo no ha encontrado una respuesta satisfactoria.

### 3.3.6. Fisurabilidad de núcleos de presas.

Son dos los tipos fundamentales de posibles fisuraciones. Las paralelas al eje de la presa, que se designarán como longitudinales; las normales al mismo, o transversales. Existen otras sin una orientación preferencial, de menor importancia a efectos de estabilidad.

#### 3.3.6.1. Fisuras longitudinales.

Pueden aparecer en coronación, en el núcleo, en el contacto núcleo-filtros o en el interior de la presa. En coronación. Las causas pueden ser diversas:

- La deformación instantánea o diferida del cuerpo de la presa, que tiene tendencia a descomprimir o traccionar la parte alta de terraplén. Esta es una circunstancia derivada de los movimientos generales de la sección transversal por peso propio o debida al embalse.
- La deformación instantánea o diferida de la cimentación, cuando su compresibilidad no es despreciable por tratarse de acarreos arcillosos o limosos poco consistentes. Esta deformación se suma a la anterior, acentuando la descompresión lateral de la coronación. Si el espesor de los acarreos no es uniforme, los asientos diferenciales pueden ser más acusados, aumentando la posibilidad de tracciones.
- El colapso del material del espaldón de aguas arriba, como consecuencia de los primeros embalses. La inundación de un terraplén provoca un asiento adicional, según sea el tipo de material, su compactación y la presión efectiva inicial en el momento de saturación. Tal contracción equivale en conjunto a una aparente disminución del módulo de deformación del espaldón una vez ha concluido de



terminada la obra. Este tiene tendencia a deslizar hacia abajo en relación con el núcleo, y su efecto, acumulado, se advierte en coronación.

- Un comienzo de corrimiento en el espaldón de aguas arriba, en especial al comienzo de embalses parciales. La primera etapa de un deslizamiento se traduce en una descompresión en la cabeza del terraplén con la aparición previa de una grieta vertical. Esto puede ocurrir en presas de núcleo inclinado hacia aguas arriba.

En el interior del cuerpo de la presa:

- En la parte inferior de núcleos inclinados si la cimentación es compresible. En tal caso los movimientos del terreno de apoyo pueden ser divergentes en aquella zona y provocar la tracción que abre la grieta. Esta tendencia se acentúa si el espesor del cimiento compresible es diferente en el pie del espaldón y en el centro de la presa.
- En la parte media de núcleos inclinados, si la cimentación rocosa tiene espolones o salientes acusados sobre los que se apoya el núcleo. El movimiento hacia aguas debajo de la parte alta de la presa tracciona el núcleo en las cercanías del montículo rocoso.
- La fracturación hidráulica que puede presentarse en núcleos verticales o subverticales delgados, cuando por efecto silo del material del núcleo entre los espaldones menos compresibles, la presión total vertical sobre planos horizontales es inferior a la presión del agua del embalse.

#### *3.3.6.2. Fisuras transversales o despegues entre presa y cimentación.*

Son debidos a las deformaciones que experimenta la presa en dirección longitudinal por el peso propio o por la compresibilidad de la cimentación. Casi todos se manifiestan en coronación poco después de concluida la construcción o en las primeras etapas del embalse. Las causas más importantes son las siguientes:



- La deformación instantánea o diferida de la cimentación en el centro del cauce si su espesor es grande o es muy compresible. Las fisuras suelen aparecer a medio camino entre el centro de la presa y los estribos.
- El colapso o asiento de la cimentación como consecuencia del embalse.
- La diferencia de asientos diferidos entre estribos y el centro de la presa, debido al peso propio del terraplén, cuando las laderas son escarpadas. Si no existe deslizamiento entre la presa y los estribos en la parte alta, ésta queda colgada respecto a la inferior. En este caso, las fisuras se manifiestan en las cercanías de los estribos.
- Fuertes cambios de altura o pendiente de las laderas. El agrietamiento se manifiesta en las proximidades de la vertical del quiebro.
- Existencia en las cercanías de la coronación de fuertes irregularidades en el perfil del estribo, que pueden provocar despegues entre presa y terreno.

#### 3.3.6.3. *Otros tipos de fisuras.*

Fisuras por retracción de núcleos compactados con una humedad muy por encima de la óptima. Una disminución del contenido de humedad de un 10% puede producir unas tracciones máxicas, según el tipo de suelo y su estado inicial, hasta 10 Kg/cm<sup>2</sup>. Estas grietas se reparten en la masa del suelo, sin una orientación preferencial y pueden profundizar bastantes metros a partir de la superficie.

#### 3.3.7. *Sifonamiento en presas.*

La erosión del núcleo o del cuerpo de la presa por arrastre de los materiales que lo componen hacia el exterior de la obra o hacia las zonas más permeables de los espaldones o filtros ha sido la causa de un elevado número de accidentes de muy diversa gravedad. En unos casos ha supuesto solamente un aumento de las pérdidas de agua, pero en casos extremos ha producido la ruina total de la obra con importantes daños y pérdida de vidas humanas.



### 3.3.7.1. *Causas y tipos de sifonamiento.*

En el interior de la presa:

- a) Existencia de una fisuración que afecte total o parcialmente al núcleo, como es el caso de la fracturación hidráulica. Aunque no afecte al espesor completo del elemento impermeable, el gradiente hidráulico entre el extremo de la grieta y los filtros puede ser muy grande, por lo que la presión de corriente en la zona de contacto llega a forzar la migración de partículas finas.
- b) Presencia de conducciones permanentes o temporales, no adecuadamente impermeabilizadas o selladas. Es el caso de tuberías de los aparatos de auscultación, abandonadas después de terminada la obra. El efecto es el mismo que el indicado en el apartado a).
- c) Defectos de compactación de núcleo o de la naturaleza del material colocado en zonas extensas, abarcando o no a la totalidad del espesor. Si la permeabilidad de las áreas defectuosas es mayor que la del resto del núcleo, el efecto es el mismo, si bien en menos grado que el de una fisuración.
- d) Rotura previa de la pantalla de impermeabilización, cuando el material del cuerpo de la presa es erosionable. Un defecto importante o generalizado, en la pantalla, provoca la actuación directa del embalse sobre el terraplén, que normalmente no está preparado, por la disposición de drenes o filtros para recibir la filtración.
- e) Existencia de filtros o drenes inadecuados para evitar el movimiento de las partículas finas del núcleo.



En el contacto de presa y cimentación o laderas, u obras anejas:

- a) Existencia de fisuraciones del núcleo en el contacto.
- b) Filtración o corrientes de agua en la roca o terreno de apoyo que pueda arrastrar el material del núcleo hacia las zonas permeables del cimiento.
- c) Despegues entre el núcleo y obras de fabrica anejas, bien sean éstas muros de aliviadero sobre los que ese apoya la obra de tierra, recintos de obra de toma, etc. Tales despegues pueden producirse en áreas poco profundas, tales como coronación, o en núcleos cercanos al paramento de aguas arriba, en su pie, si los movimientos generales de la obra tienen tendencia a separar el núcleo y contornos de la fábrica.
- d) Zanjas o rellenos entre terreno natural y conductos o galerías de hormigón, mal compactados. Aunque estas circunstancias se produzcan en zonas profundas, comprimidas, el efecto arco entre las paredes fijas impide la consolidación de los rellenos defectuosos, por donde la filtración de agua tiene un camino fácil a través del terreno poco compactado y, en consecuencia, más erosionable.
- e) Irregularidades en las laderas, por un efecto similar al indicado en el apartado anterior, que dejan zonas de la presa al abrigo de los movimientos generales del terraplén. En ellas pueden originarse descompresiones en incluso tracciones. Si la presión del agua es superior a la presión total, es posible el comienzo de una fracturación hidráulica.
- f) Rotura o defectos de pantalla de impermeabilización de las cimentaciones en las cercanías del núcleo. La parte de aguas debajo de éste queda expuesta a posibles corrientes de agua, fuertes, originadas por los importantes gradientes que en tales circunstancias existen allí.



A través de la cimentación:

- a) Si el apoyo de la presa es relativamente permeable, o tiene alguna capa horizontal que lo sea, la salida del agua al pie de aguas abajo puede socavar esta zona y sus contornos.

### 3.3.8. Filtros.

En las presas cuyo elemento de estanqueidad es arcilloso o cuando son de esperar filtraciones a través del cimientto, el filtro es un elemento esencial para la estabilidad de la obra. Varias son las misiones de las capas de transición entre núcleo o cimientos y el cuerpo del terraplén.

- I. Impedir el arrastre de las partículas arcillosas hacia los espaldones más permeables o fuera del cuerpo de la presa en cualquier circunstancia de la obra.
- II. Que la presión del agua sea nula en el conjunto de las capas de transición, para asegurar que aquella tenga unas condiciones de contorno fijas, establecidas en el proyecto.
- III. Evitar una penetración o clavamiento de elementos gruesos en zonas de partículas más finas y menos consistentes.

Para cubrir estos objetivos es usual proyectar de una a tres capas de filtro entre el núcleo o cimientos y el espaldón, o entre éstos y la zona más permeable del dren.

La morfología y la situación de las capas drenantes dentro del cuerpo de la presa pueden ser muy variadas, según sea la sección tipo de la presa y las condiciones de cimentación. En general, es preciso distinguir entre capa de transición, cuyos objetivos son los II. y III. o el I. de una forma circunstancial, de aquellos que durante toda la vida de la obra han de servir de contención de arrastres provenientes de los elementos de estanqueidad o de la cimentación. Los requerimientos deben ser mucho más estrictos para este último caso.





### 3.4. EXCAVACIÓN Y METODOLOGÍAS DE RELLENO.

#### 3.4.1. Excavación mecánica.

##### 3.4.1.1. *Maquinaria para excavaciones mecánicas.*

Para la realización de una excavación mecánica se hace necesario la utilización de maquinaria específica para cada tipo de operación que se realiza en el ámbito de una excavación, a continuación, se describe la maquinaria que va a ser necesaria para la realización de la excavación:

- Bulldozers o tractores.

Maquinaria para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo para el empuje con la hoja (transporte). En esta máquina pueden montarse diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, que modifiquen las capacidades de los órganos básicos de trabajo. Además, debido a su gran potencia, tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten.

Estas máquinas se utilizan durante el proyecto de construcción en operaciones como: limpieza de terreno de árboles y maleza, apertura de brechas en terrenos rocosos, movimientos de tierra en estanques, cortes carreteros u otros, esparcimiento de rellenos de tierra y limpieza de escombros en sitios de construcción. Con frecuencia los bulldozers presentan dientes para la escarificación, que permite la remoción de terrenos duros, en los que la excavación mecánica simple no resulte posible, pero no alcancen los márgenes en los que se hace necesaria la aplicación de prevoladuras.



Figura 3-11: Bulldozer. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Excavadoras.

Maquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de 360°, que excava, carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y balance, sin que el chasis o la estructura portante se desplace. En función de los órganos de trabajo, puede distinguirse entre equipos de cables (de escasa aplicación en ámbitos ajenos a la minería), e hidráulicos. Por otro lado, y considerando la disposición del cazo, es posible distinguir entre equipos retro y frontales.

Las retroexcavadoras son máquinas autopropulsadas que se caracterizan por su versatilidad y la ventaja de trabajar en espacios reducidos. Esta máquina se encuentra montada sobre ruedas o cadenas, y la dinámica de carga se fundamenta en el giro de la superestructura.



Figura 3-12: Excavadora. (Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com) Bajo licencia CC0 Creative Commons).



Figura 3-13: Pala cargadora de ruedas. (Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com) Bajo licencia CC0 Creative Commons).





- Palas cargadoras.

Se entiende como tal, aquel equipo como máquina autopropulsado sobre ruedas o cadenas, con un elemento montado en su parte frontal cuya función fundamental reside en las operaciones de carga (cuchara), procediéndose a la carga de materiales o a la excavación en base al movimiento longitudinal en avance y retroceso de la propia cargadora, en oposición a la sistemática empleada en el caso de las retroexcavadoras, basada fundamentalmente en la acción combinada del giro con la elevación y descenso del cazo. Las principales funciones de las palas son la carga de materiales sueltos, su transporte a lo largo de distancias reducidas, y/o su descarga sobre tolvas de altura reducida o unidades de acarreo.

- Compactadores y vibrocompactadores.

Las apisonadoras son máquinas autopropulsadas de 2 ó 3 rodillos, que se emplean en la compactación de tierras de espesores de 20 – 30 cm. Su peso varía de 5 a 15 toneladas y la velocidad de trabajo entre 2 y 10 Km/h.

La maquinaria vibrante puede ser apisonadora autopropulsada o rodillos vibrantes remolcados por tractor, pisonés manuales, planchas o bandejas vibrantes, etc. Puede compactar adecuadamente gravillas, arenas y, en general, terrenos con poco o ningún aglomerante, en espesores hasta 25 cm. No son aptos para terrenos arcillosos.



*Figura 3-14: Compactadora. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*

- Motoniveladora.

Máquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto. Su función principal es nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial. Su versatilidad viene dada tanto por los diferentes movimientos de la hoja, como por la serie de accesorios que puede tener.

Su principal diferencia frente a los tractores radica en que la motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor. Debido a esto es más utilizada en tareas de acabado y trabajos de precisión.



Figura 3-15: Motoniveladora. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Camiones.

El transporte de material excavado a vertedero o al lugar de empleo es muy usual en las obras. Esta operación comprende el transporte de tierras sobrantes de la excavación a vertedero, o bien el transporte de las tierras necesarias para efectuar un terraplén o un relleno. En otras situaciones, es necesario transportar agua para realizar la construcción de obras de drenaje o para el riego en terracería, para lo que se hace uso de los camiones cisterna.

Tanto los camiones de la obra propiamente dichos, como los dumpers extraviales, son medios de transporte para largas distancias, con una serie de peculiaridades. Mientras los primeros no pasan de un peso de 13 toneladas por eje. Los segundos exceden dicho peso máximo, debiendo restringirse su empleo al ámbito de la propia obra, por comprometer significativamente el asfaltado de vías de tránsito ordinarias. Además de su gran capacidad, tienen un diseño especial que los compatibiliza para soportar cargas bruscas, terrenos accidentados, etc. Existe una variante intermedia constituida por los dumpers

extraviales, caracterizados por contar con una articulación entre el cuerpo de cabina y la caja, y la posibilidad de emplearlos para el tránsito por vías ordinarias. Presentan además menores requisitos de calidad de firme para poder circular, por lo que pueden ser el vehículo de transporte empleado transitoriamente hasta que, en caso de ser necesarios, puedan acceder a la obra dumpers rígidos.



Figura 3-16: Dumper extravial rígido. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

#### 3.4.1.2. *Proceso de excavación mecánica y ejecución de la presa.*

Tras considerar los principales equipos de carga y transporte a emplear, se recogen seguidamente las principales etapas a considerar en los procedimientos destinados a la ejecución de excavaciones mecánicas. Inicialmente, deben realizarse las labores de deforestación, remoción de la capa de suelo vegetal, excavación de barro y suelos pocos densos no aptos para la fundación para la presa.



Posteriormente, debe realizarse una excavación final, de los materiales sueltos que quedan sobre la roca, después de efectuada la excavación mayor a máquina. Además, debe realizarse una limpieza final de la superficie de la roca mediante chorros de agua a presión antes de la colocación de la primera capa de material del terraplén de la presa.

Las actividades que se realizan para la realización de la presa son las siguientes:

1) Excavación y preparación del material.

Una vez deforestada y limpia la superficie. Tras el desbroce, se procederá a la excavación y extracción del terreno natural en la extensión y profundidad especificada en el estudio. Para ello se utilizan retroexcavadoras y el material con un diámetro inferior a 0,4 m se considera no grueso, por lo que mediante camiones es enviado a la trituradora.

2) Transporte del material.

Una vez que se ha triturado la roca inferior a 0,4 m de diámetro, se lleva de nuevo a la presa en camiones. De manera que se aprovecha para cimentar tanto el material grueso como el fino ya triturado.

3) Colocación y conformación del material en el terraplén.

Cuando proceda, se extenderán capas de materiales granulares gruesos o láminas geotextiles que permitan o faciliten la puesta en obra de las primeras tongadas del relleno.

Una vez descargado el material se procede a su homogenización. Esto consiste en extenderlo de manera uniforme, en forma de capas que tienen generalmente un espesor comprendido entre 20 y 30 cm en el caso de suelos arcillosos, entre 30 y 50 cm en materiales permeables granulares (grava, arena) y entre 80 y 120 cm en enrocados.

La conformación en capas de espesores constantes tiene por objeto uniformizar el material para la compactación. Antes de compactar la capa se hacen los ajustes finales de la humedad (si ello es necesario), requiriéndose a veces un





riego complementario y el mezclado del material en el terraplén para alcanzar la humedad óptima.

#### 4) Compactación.

La compactación es el proceso de densificación (apisonado) de los suelos que constituyen el terraplén de la presa. Esta se efectúa por medios mecánicos y consiste en lograr una mayor proximidad de las partículas sólidas.

Las presas de tierra se compactan para:

- Mejorar las propiedades mecánicas del terraplén, básicamente para aumentar la densidad, el ángulo de fricción y la cohesión.
- Homogeneizar el material, evitando la presencia de zonas débiles poco densas e incluso la existencia de cavidades que podrían propiciar la erosión interna de la presa.
- Disminuir la permeabilidad del terraplén.
- Reducir el volumen de la presa. Los terraplenes compactados permiten utilizar taludes estables más inclinados que en el caso de suelos sueltos, por lo que las presas compactadas ocupan un espacio menor.

La compactación se efectúa utilizando diferentes equipos. Los equipos de compactación que se utilizan en las presas son del tipo rodante (excepto los equipos pequeños manuales), tienen un peso de varias toneladas y pueden actuar sobre el relleno estática o dinámicamente (equipos vibratorios).

### 3.4.2. Excavación por voladura.

#### 3.4.2.1. *Materiales para voladuras.*

Dado que la ejecución de la infraestructura planteada en el proyecto requiere la ejecución de importantes desmontes de roca, resulta ineludible el empleo de explosivos. Es por ello que se desarrolla el presente epígrafe, que tiene por objeto realizar un breve estado de la técnica en materia de explosivos y su uso civil.



Los explosivos son sustancias químicas que podemos encontrar en varios estados, pero el más habitual es en estado sólido. Cuando estas sustancias se transforman en gaseosas producen una reacción exotérmica muy fuerte, produciéndose un aumento del volumen y de la temperatura muy rápido. Esto provoca unas presiones enormes que pueden romper los materiales que los contienen o los que tiene alrededor, en este caso, las rocas.

Dependiendo del explosivo la reacción puede ser más o menos violenta. La potencia depende, entre otras cosas, de la velocidad a la que se produce la transformación de sólido – gas. La pólvora, por ejemplo, es uno de los explosivos menos potentes y la reacción que se produce tiene una velocidad en m/s, en cambio los explosivos plásticos o la goma-2 son algunos de los explosivos más potentes y la reacción se produce en km/s.

Para iniciar un explosivo se ha de tener en cuenta que hace falta una detonación inicial a modo de cebo que inicie todo el proceso en el explosivo principal.

#### *3.4.2.2. Clasificación de los explosivos.*

##### *a) Dinamitas gelatinosas (gomas).*

Están compuestos de nitroglicerina gelatinizada con nitrocelulosa. El nitrato amónico es el elemento predominante. Su consistencia es gelatinosa. Alfred nobel, en 1875, preparo la primera mezcla con un 93% de nitroglicerina.

Su consistencia gelatinosa le da una gran resistencia al agua, además de una alta densidad que, unida a su alta potencia y velocidad de detonación, las hacen adecuadas para carga en fondo de barrenos o voladura de rocas de dureza media/alta. Son imprescindibles para voladuras submarinas.

Adecuadas con gran cantidad de agua, voladuras de contorno y aplicaciones tanto a cielo abierto como cerrado. Tienen una velocidad de detonación de 6.000 m/s y una densidad de 1,45 g/cm<sup>3</sup>.

La problemática que presentan es su rápido envejecimiento, pierden la mitad de la velocidad de detonación a los dos meses de su fabricación. Los gases que emanan son muy tóxicos y su manejo no es muy seguro.



Algunos ejemplos de explosivos gelatinosos son la goma 2EC y la goma 2ECO.

b) Dinamitas pulverulentas.

Tiene como base compuestos de nitrato amónico. En general el agente explosivo es TNT aunque inicialmente era nitroglicerina, pudiendo llevar también trilita.

Su potencia, densidad y velocidad de detonación es inferior a los gelatinosos. Si no se añade un producto impermeabilizante, su resistencia al agua es mala. Se emplean en la voladura de rocas semiduras o blandas y generalmente en barrenos sin agua. Destacan en voladuras subterráneas. Su velocidad de detonación se encuentra entre 4.000 – 4.300 m/s y su densidad es de 1,15 g/cm<sup>3</sup>.

Si disponían de base de nitroglicerina eran difíciles y peligrosos de manejar.

Un ejemplo de explosivos pulverulentos son la Amonita y la Ligamita.

c) Anfos.

Explosivo pulverulento constituido por la mezcla de nitrato amónico y un combustible líquido o aceite mineral (fuel-oil) en proporción de 1-7%. Necesitan buena iniciación para su correcta detonación (cordón detonante, cebo de goma o multiplicadores).

Es prácticamente insensible a los golpes, al rozamiento y al frío. Tiene una gran sensibilidad al agua con una humedad del 8% no detona, pero con menos humedad su eficiencia disminuye considerablemente.

Es adecuado para carga en columna a cielo abierto. En los anfos, el contenido de combustible juega un papel importante, sobre todo en el balance de O<sub>2</sub>. El incremento en el porcentaje de combustible aumenta la insensibilidad.

Para los hidrogeles y las mezclas tipo anfo, la variación de la sensibilidad con la densidad es mucho mayor que para los explosivos gelatinosos.

Por encima de una densidad de 1,1 g/cm<sup>3</sup>, la velocidad de detonación cae en picado y no se asegura la detonación, a esta densidad se le denomina densidad de la muerte.



La insensibilización puede estar ligada a presiones hidrostáticas, presiones dinámicas, efecto canal o cargas adyacentes.

Su potencia explosiva es de 65, la velocidad de detonación es de 4.000 m/s y la densidad 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Es el explosivo que más se usa debido a que es potente, seguro y barato. La marca comercial más conocida es la nagolita, a partir de ella se han desarrollado otros como el Alanfo.

#### d) Hidrogeles.

Son dispersiones en las que la fase continua es una solución acuosa (8 - 20%) de nitrato amónico saturada y la fase dispersa son combustibles sólidos y otros oxidantes requeridos.

Es un explosivo bastante seguro e insensible a golpes o a la fricción debido a su base de agua.

Su textura gelatinosa permite un perfecto relleno de los huecos de los barrenos y por su potencia y su elevada resistencia a la acción del agua, su uso es comparable al de las gomas.

Pueden aplicarse sustancias sensibilizantes, como por ejemplo pentrita, partículas de aluminio con hidrogeno o nitratos de amina.

Son sensibles al detonador, cordón detonante o cualquier multiplicador. Su aplicación principal es la carga de barrenos a cielo abierto.

Las principales características de los hidrogeles son:

- Alta seguridad frente a estímulos subsónicos.
- Posibilidad de mecanización de la carga.
- Buena resistencia al agua.
- Producción de humos de muy baja toxicidad.
- Gran adaptación al barreno.
- No producen dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
- Elevadas potencias.

La marca comercial más conocida es el riogel.



e) Pólvoras.

En 1.200 llegó a Europa procedente de China. Es una mezcla terciaria de nitrato potásico, azufre y carbón vegetal, en una proporción del 75%, 10% y 15% respectivamente.

No es propiamente un explosivo ya que no detona, sino que deflagra, debido a esto, su acción es de empuje y no rompedora, provocado por la generación de un gran volumen de gases de combustión, en lugar de por el efecto rompedor de la onda de choque.

La velocidad de detonación es baja en comparación con las velocidades de detonación de los explosivos, pudiendo llegar a 500 m/s en confinamiento y con determinados calibres.

Es bastante sensible al roce y a la llama, por lo que se deben contemplar adecuadas medidas de seguridad en su manejo. Los humos de combustión de la pólvora son tóxicos, por lo que ha de darse mucha importancia a la ventilación en trabajos subterráneos.

Para la iniciación no se requiere detonador, basta con una llama o chispa como la producida por la mecha lenta.

Las pólvoras se suministran en granulado, añadiendo al final del proceso grafito, que al ser conductor evita las cargas electrostáticas, y actúa como lubricante.

La potencia explosiva es de 28.

En la actualidad se usa en las labores de arranque de rocas ornamentales como el granito o el mármol, en las que, por acción del empuje, la separación del bloque del macizo se produce sin daño.



### 3.4.2.3. *Características generales de los materiales explosivos.*

Los materiales explosivos se clasifican en función de las características que se explican a continuación.

✓ Estabilidad química.

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el explosivo para mantenerse sin alteraciones en determinadas condiciones de almacenamiento a lo largo del tiempo. Está garantizada si las condiciones de humedad, temperatura y ventilación, y el periodo de almacenamiento son las adecuadas. La falta de estabilidad química supone la pérdida de eficiencia y el aumento del riesgo durante la manipulación.

✓ Velocidad de detonación.

Velocidad a la que se produce la transformación del explosivo en un gran volumen de gases, a elevada temperatura y presión. Es importante en la elección del explosivo, para obtener grandes bloques se optará por explosivos que detonen lentamente, mientras que, para fragmentaciones más intensas, se optará por explosivos de elevada velocidad de detonación.

La velocidad de detonación puede ser de baja velocidad, como la de la pólvora, cuya deflagración es a 400 m/s y se utiliza para rocas muy blandas u ornamentales, y de alta velocidad, como la del Amonal, con una deflagración de 4.400 m/s, el TNT 7.300 m/s y el C4 8.300 m/s, se utilizan para rocas duras.

✓ Aptitud para la propagación.

Es la facilidad que presenta un material explosivo para transmitir la detonación de un cartucho a otro cuando están en contacto, también se denomina “detonación por simpatía”.





✓ Potencia explosiva.

Capacidad del explosivo de quebrantar y proyectar la roca, debida al conjunto onda de detonación más presión de gases.

Depende de la composición del explosivo, y puede optimizarse adecuando la voladura. Se valora, mediante alguno de los métodos recogidos a continuación:

1. El péndulo balístico.

Se realiza comparando la potencia explosiva del explosivo con la potencia explosiva de la goma pura, a la que se le asigna un 100. Método adecuado para explosivos tipo goma, no es conveniente para valorar anfos e hidrogeles.

$$T.M.B = 100 \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \beta}$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los ángulos registrados en el retroceso del péndulo, correspondientes al explosivo a ensayar y al explosivo patrón (goma pura).

2. El método de Traulz.

Este método de termina la capacidad de expansión que produce la detonación de 10 gramos de explosivo en el interior de un bloque cilíndrico de plomo. La diferencia entre el volumen total obtenido y el volumen inicial de 62 cm<sup>3</sup> da el valor Traulz real o ensanchamiento de Traulz. El experimento se efectúa en varias ocasiones, por lo que los valores que se consideran son la media aritmética de los obtenidos.

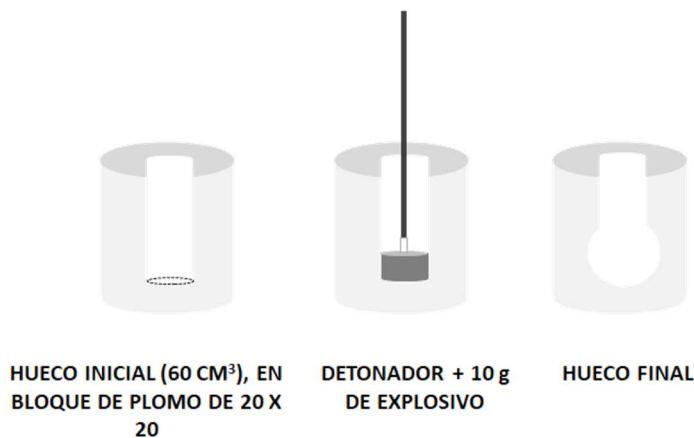


Figura 3-17: Representación del proceso del método de Taulz.. Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura "Laboreo I". Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. "Manual de Perforación y Voladura de Rocas".

*Volumen de Taulz:* volumen medido tras la explosión en centímetros cúbicos (sin descontar el volumen inicial de la cavidad, ni el incremento de volumen debido al detonador).

*Ensanchamiento de Taulz (o volumen real):* volumen de Taulz menos la suma del volumen inicial y en incremento de volumen debido al detonador.

*Índice de Taulz:* cociente entre el ensanchamiento de Taulz del explosivo ensayado y el ácido pícrico, explosivo utilizado como patrón.

3. Determinación de la energía relativa por unidad de peso y volumen. Este método es adecuado para explosivos insensibles al detonador. Conviene destacar los siguientes parámetros:

AWS: Energía absoluta por unidad de peso [cal/g].

ABS: Energía absoluta por unidad de volumen [cal/cm<sup>3</sup>].

A partir de ellos se obtendrá la energía relativa por unidad de peso (RWS) y volumen (RBS) respecto al anfo.

$$RWS = \frac{AWS}{AWS_{ANFO}} \times 100$$



$$RBS = \frac{ABS}{ABS_{ANFO}} \times 100$$

La instauración de la determinación de la energía relativa responde a un aspecto fundamental: para poder comparar con goma pura, esta debe fabricarse y eliminar el excedente tras el proceso, con los riesgos que este proceso conlleva. Resulta más cómodo referenciar respecto al anfo. Dadas las características de potencia y densidad de éste, los restantes explosivos darán valores de RWS superiores a 1 y de RBS aún mayores.

✓ Medida bajo el agua.

Permite diferenciar la energía de tensión de la energía de expansión de los gases. El explosivo, al dispararse en un medio homogéneo, actúa sin distorsión direccional y la ubicación de sensores de lectura diferencian ambos impulsos, que podrán comprobarse con el explosivo patrón con gran exactitud. El esquema que se emplea es el siguiente:

✓ Resistencia a la humedad.

Característica por la que el explosivo mantiene sus propiedades inalteradas durante un periodo en contacto con el agua. Los explosivos que permiten ser cargados en barrenos con agua son las dinamitas gelatinosas, los hidrogeles o las emulsiones.

Cuando se hacen voladuras bajo el agua, aparte de considerar que el explosivo no vaya a disolverse en el agua, se considerara también que mantenga la sensibilidad de iniciación y propagación.

Si únicamente existe un cierto grado de humedad, cualquier explosivo será válido siempre que el tiempo de permanencia en el barreno sea breve, o se enfunden.

Es la característica que indica el comportamiento del explosivo en ambientes húmedos. Si la base del explosivo es la nitroglicerina (dinamita, goma-2), los



explosivos son resistentes a la humedad. En el caso de los explosivos con base de nitrato amónico suelen ser sensibles a la humedad. La pólvora es muy sensible a la humedad, ya que mojada no arde.

✓ Densidad de encartuchado.

Característica de gran importancia en explosivos industriales. Cuanto mayor sea la densidad del explosivo, mayor será la concentración de carga para un diámetro de barreno determinado.

La carga de explosivos de densidad inferior a  $1,1 \text{ g/cm}^3$  en barrenos con agua es muy laboriosa ya que los cartuchos tienden a flotar.

La densidad está condicionada por la granulometría de los distintos compuestos. Los explosivos de base de nitroglicerina suelen ser densos (hasta  $1,6 \text{ T/m}^3$ ), los explosivos pulverulentos como los anfos, so mucho menos densos ( $0,8 \text{ T/m}^3$ ).

✓ Resistencia a bajas temperaturas. Algunos explosivos pueden congelarse por bajas temperaturas (por debajo de  $8^\circ\text{C}$ ), como consecuencia dejan de ser útiles o se deterioran sus características, además de la disminución de la seguridad en su manejo. Para el manejo de estos materiales a temperaturas inferiores hay que añadirles aditivos.

✓ Poder rompedor. Método de Hess.

Característica del explosivo, que indica la capacidad de quebrantar la roca debida a la onda de detonación únicamente. Es un parámetro muy importante en explosivos de empleo con bajo grado de confinamiento, ya que sus gases no pueden ejercer grandes presiones.

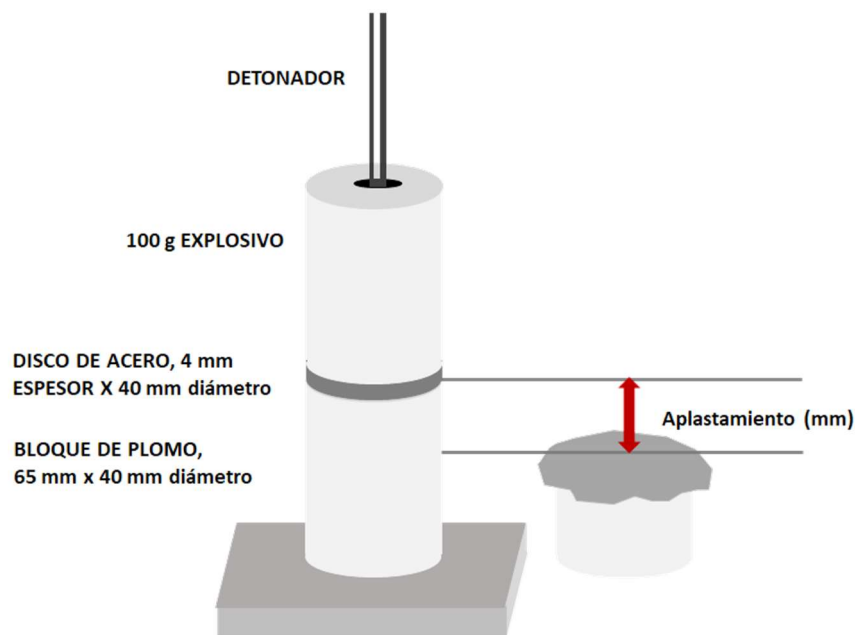


Figura 3-18: Método de Hess. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura "Laboreo I". Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. "Manual de Perforación y Voladura de Rocas".

✓ Generación de humos.

Es una característica con mucha importancia en trabajos de interior, sobre todo, puesto que, para muchos explosivos con base nitrosa, la aspiración de los humos emanados puede ser muy peligrosa. Según los litros de gas nocivo que se genera se pueden clasificar en:

Tabla 3-7: Categorías de los humos nocivos.

CATEGORIAS	HUMOS NOCIVOS
Categoría A	< 2,27 l/100 g de explosivo.
Categoría B	2,27 – 4,21 l/100 g de explosivo.
Categoría C	> 4,21 l/100 g de explosivo.



✓ Sensibilidad.

Es el mayor o menor grado de energía que hay que comunicar a un explosivo para que se produzca la explosión.

1) Sensibilidad al detonador.

Los explosivos suelen iniciarse mediante la detonación de un explosivo de elevada potencia, alojado en el detonador, en un cordón detonante o en el multiplicador. Se utilizará un multiplicador para explosivos que no son sensibles al detonador.

2) Sensibilidad a la onda explosiva.

Capacidad de transmisión entre los cartuchos de explosivo, colocados en línea y separados una determinada distancia. Los ensayos se realizan sobre placa y hierro o al aire. La obtención de buenos resultados en estas condiciones garantiza buenas voladuras ya que la sensibilidad en el interior del barreno es sensiblemente superior.

Aun a pesar de la sensibilidad característica a la onda explosiva, ha de asegurarse la detonación en el caso de cargas discontinuas, por lo que se emplea cordón detonante, o un sistema adecuado de iniciación a lo largo de la carga.

3) Sensibilidad al choque y al rozamiento.

Ciertos explosivos industriales se inician al ser sometidos a impacto o fricción. Para determinar la sensibilidad al choque se realizan ensayos normalizados, consistentes en dejar caer un martillo sobre la muestra de explosivo a ensayar, para determinar la mínima altura de caída que produce la detonación.

Para la sensibilidad a la fricción, se emplea otro ensayo normalizado que valora la fuerza mínima de rozamiento capaz de soportar el explosivo sin que acontezca la detonación.





4) Sensibilidad al calor.

Al determinar la sensibilidad al calor se valora la temperatura a la que el explosivo desprende gases, verificándose una pequeña explosión. En las pólvoras esa temperatura es de 325°C, y en los explosivos sensibilizados con nitroglicerina a los 200°C.

5) Respuesta al fuego.

Es importante conocer la respuesta del explosivo a la acción del fuego. La pólvora por ejemplo soporta bien el calor, pero no la llama, debido a su inflamabilidad.

*3.4.2.4. Elección del explosivo.*

La elección del explosivo debe hacerse en función de las características de este para conseguir la máxima eficiencia. Los factores que se han de considerar son:

a) Tipo de roca.

Hay que analizar la dureza de la roca y en función de esta, seleccionar explosivos con la potencia suficiente para realizar el trabajo de manera eficiente. Además de su potencia se ha de tener en cuenta la fisuración del macizo y la estratificación para diseñar correctamente la campaña de barrenos.

b) Fragmentación.

Los explosivos de alto poder rompedor generaran rocas de pequeña dimensión, aptas para plantas de machaqueo, por ejemplo. Para conseguir grandes bloques enteros es necesario romper con sumo cuidado utilizando pólvoras, como sucede en las canteras de roca ornamental.

c) Humedad de los barrenos.

La existencia de agua en la perforación es una condición importante en la elección del explosivo.



d) Toxicidad.

Es un dato de especial relevancia para ocasiones en las que se utilizan explosivos en espacios subterráneos como minas, túneles o cualquier lugar cerrado, porque no todos los gases de explosivos son igual de tóxicos y en función de la toxicidad del explosivo se obliga a disponer de sistemas de ventilación adecuados.

Actualmente la preocupación por el medio ambiente hace que estas consideraciones se tengan en cuenta incluso en voladuras en espacio abierto.

e) Atmosfera explosiva.

La presencia de gas grisú en las minas de carbón condicionan la elección del explosivo para asegurar que no inflame el gas por simpatía.

f) Diámetro y profundidad de los barrenos.

Cuanto más pequeño sea el diámetro del barreno debe usarse explosivo con más poder de propagación. En los barrenos muy largos, el riesgo es que la introducción de explosivos sensibles y por el peso acumulado, pueda llegar a condiciones de auto detonación.

g) Carga de fondo y carga de columna.

El explosivo más potente se sitúa en el fondo para conseguir la mayor rotura, pudiendo emplear explosivos menos densos en la columna que rompen menos, pero proyectan el material hacia el exterior.

#### 3.4.2.5. *Materiales auxiliares.*

Para un manejo seguro de los explosivos, se hace necesario el uso de materiales auxiliares como detonadores, mechas, cordones, explosores, etc.

➤ Detonadores.

Un detonador es un elemento explosivo de gran potencia que se utiliza para provocar la detonación del explosivo principal, es decir, actúa como un cebo.



La cantidad de explosivo en el detonador es pequeña, pero se trata de explosivo muy sensible. Se suele alojar en una cápsula de aluminio o cobre.

Existen tres tipos de detonadores, detonadores eléctricos, detonadores no eléctricos y detonadores electrónicos.

#### *Detonador eléctrico.*

Los detonadores eléctricos son aquellos que se activan mediante energía eléctrica. El detonador eléctrico se compone de tres partes dispuestas en un casquillo de aluminio o cobre, empleándose este último en minas de carbón.

- Parte eléctrica: se sitúa en la zona superior del casquillo y está formada por un inflamador o cerilla y por los hilos de conexión, de colores diferentes en función del tipo de detonador.

El inflamador o cerilla es una pequeña resistencia recubierta de pasta explosiva. Esta resistencia es conocida como puente de incandescencia y va conectada a los hilos de conexión, recibiendo la corriente eléctrica a través de ellos.

- Parte retardadora: la pasta retardadora se puede encontrar únicamente en detonadores de tiempo, es decir, en los detonadores eléctricos de retardo o microrretardo. Los detonadores instantáneos o de número 0, no lo llevan.

En los detonadores de tiempo la pasta se coloca entre el inflamador y la carga explosiva. Se compone de un pequeño casquillo metálico, llamado portarretardo, lleno de pasta explosiva retardadora de precisión que ardera a una velocidad calculada.

- Parte explosiva: se aloja en el interior del casquillo, compuesta de dos cargas. La menor se denomina carga primaria y la mayor se denomina carga base o secundaria.

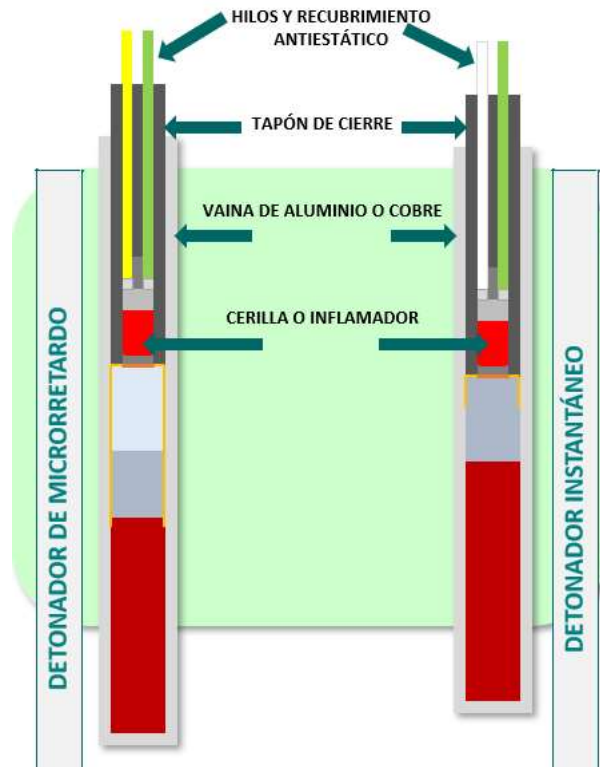


Figura 3-19: Detonador eléctrico. Fuente: Fuente: Pérez Álvarez y Berasategui Moreno (2016). Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado del I Manual de Empleo de Explosivos. UEE/MAXAM.

Los distintos detonadores eléctricos para cada uno de los barrenos se conectan entre si formando un circuito al que un explosor proporciona la corriente necesaria para su detonación.

La detonación no tiene por qué ser instantánea y, en la mayoría de los casos, interesa que no detonen todos los barrenos a la vez y por ello los detonadores tienen retardos.

En función del retardo se clasifican en:

- Instantáneos. Detonan al recibir la corriente, se distinguen por que uno de los cables es de color blanco.



- De retardo. Clasificados del 1 al 12 en función del número de periodos de 0,5 segundos que transcurren entre la detonación de uno hasta la detonación del siguiente. El cable es de color azul. No es aconsejable en voladuras a cielo abierto, ya que puede producir proyecciones inadecuadas.
- De microrretardo. En este caso el desfase es de 30 milisegundos (clasificados 1-18 y cable amarillo) o de 20 milisegundos (clasificados 1-15 y cable rojo).

Además, los detonadores eléctricos tienen distinta sensibilidad al paso de la corriente eléctrica, clasificándose en:

- Sensibles (S): son apropiados para lugares en los que no existe peligro de corrientes estáticas, producidas por líneas eléctricas, tormentas... uno de los hilos es de color rojo, el color el otro hilo viene determinado por el tiempo de retardo. En la actualidad está prácticamente en desuso.
- Insensible (I): más seguros que los sensibles frente a corrientes extrañas. Se emplean en casos en los que a pesar de no ser previsible la existencia de corrientes peligrosas en el entorno, se requiere un mayor margen de seguridad. Uno de sus hilos es rosa.
- Altamente insensibles (AI): se reducen notablemente los riesgos de autoencendido ante energía extrañas, a pesar de no ser totalmente seguros en caso de que se superen los límites de seguridad. Se distinguen por el color verde de uno de sus hilos.

Por lo tanto, todo detonador dispone de dos cables, uno indica el tiempo de detonación y el otro la sensibilidad.

#### *Detonador electrónico.*

La investigación en este tipo de detonadores comenzó a finales de los años ochenta. A pesar de su coste elevado, varias compañías lanzaron diversos prototipos. En la actualidad se pueden encontrar diversas clases de detonadores electrónicos con el mismo esquema básico.



Los detonadores electrónicos emplean un microchip para regular el retardo del detonador, empleando la energía eléctrica almacenada en uno o varios condensadores. El retardo se consigue electrónicamente, no pirotécnicamente como sucede con los detonadores eléctricos y no eléctricos.

Las ventajas que presentan los detonadores electrónicos son las siguientes:

- Altísima precisión y variedad de retardo.
- Posibilidad de programar con retardos entre 0 y 25 segundos (dependiendo del fabricante) con incrementos de un milisegundo y exactitud de 0,1% (microsegundos).
- Seguridad ante corrientes extrañas, únicamente responde ante la señal eléctrica codificada por el explosor.
- Facilidad de conexión. El circuito de voladura se conecta uniendo dos terminales eléctricos entre barrenos, sin preocuparse del orden. Son conexiones simples que pueden modificarse.
- Gran versatilidad. Una vez asignados los tiempos pueden corregirse tantas veces como se necesite antes del disparo con el escáner.
- Mejora de los resultados de las voladuras en materia de vibraciones.



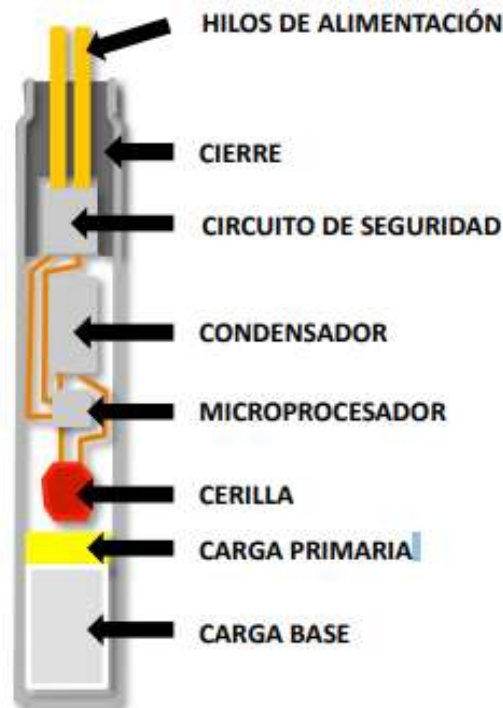


Figura 3-20: Detonador electrónico. Fuente: Fuente: Pérez Álvarez y Berasategui Moreno (2016). Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado de: Ríos Vázquez, 2009, «Curso Básico de Explosivos».

### *Detonador no eléctrico.*

La pega no eléctrica es una pega sencilla de emplear y versátil. Puede emplearse con todo tipo de explosivos y ofrece una combinación de tiempos limitada.

El sistema de este tipo de detonadores se basa en que una onda de choque de baja velocidad de detonación se propaga a través de un tubo de plástico, llamado tubo de transmisión, de forma canalizada para después llegar al detonador no eléctrico.

Las partes de este tipo de detonadores son;



1. El tapón de goma semiconductor asegura la hermeticidad y proporciona conductividad para la electricidad estática del tubo a las paredes del detonador.
2. El amortiguador de la onda de detonación distribuye la energía de la onda desde el tubo a toda la superficie de la composición iniciadora del portarretardo, mejorando la precisión. Previene fallos de aspiración en el portarretardo, así como la iniciación inversa.
3. El portarretardo contiene la pasta pirotécnica de gran precisión, que es la que da el retardo. Recibe la energía de iniciación desde el tubo de transmisión, a través de una composición iniciadora.
4. La carga primaria de nitrato de plomo recibe la energía de iniciación de la carga portarretardo y se la trasfiere a la carga base.
5. La carga base inicia el explosivo con suficiente energía.

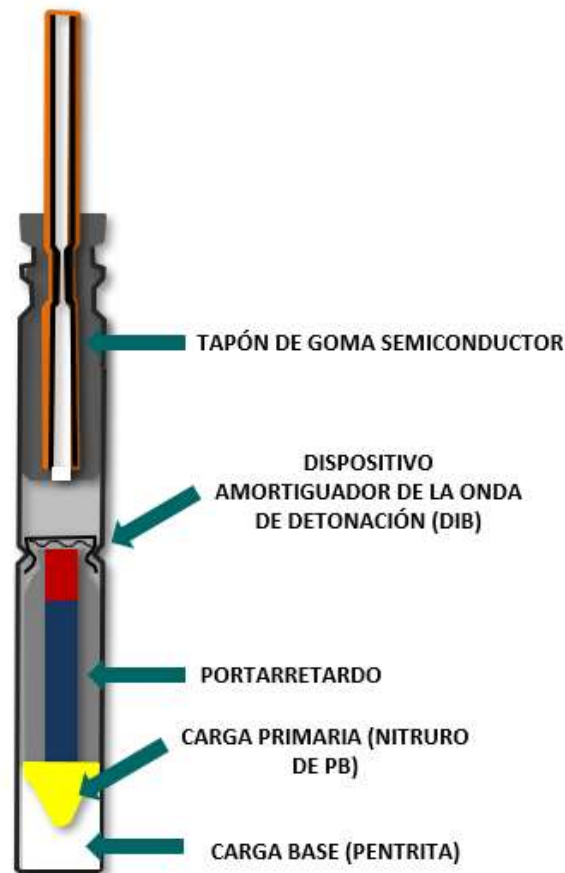


Figura 3-21: Detonador no eléctrico. Diseño y Ejecución de Obra Subterránea. OCW de la Universidad de Cantabria. Adaptado del I Manual de Empleo de Explosivos. UEE/MAXAM.

➤ Mecha lenta.

Está formada por un núcleo de pólvora negra rodeado de capas de hilo alquitranado y materiales que la hacen resistente a esfuerzos mecánicos, abrasión y humedad. Arde a una velocidad de 120 segundos por cada metro.

No permite enlazar una serie de más de seis barrenos. Es sensible al calor, los golpes y la fricción, por lo que su uso está muy limitado.



➤ Cordón detonante.

Es un cordón flexible e impermeable que contiene pentrita en su interior, que es un explosivo potente que transmite la explosión a velocidades del entorno de 7.000 m/s.

Se utiliza para transmitir a un explosivo la detonación que se inicia en un detonador. Los distintos colores indican la cantidad de explosivo que contiene. Los hay rosa, amarillo, rojo, azul, naranja y verde. El más común es de color azul y contiene 12 gramos de pentrita por metro.

Con el cordón detonante se pueden conseguir retardos intercalando relés que demoran la explosión 15-20 milisegundos.

➤ Explosor y ohmímetro.

El explosor es el elemento que transmite la carga eléctrica que hace detonar el conjunto de barrenos conectados en un circuito. Los hay dinámicos y de condensador.

El ohmímetro mide resistencias. Sirve para comprobar que un circuito que conecta varios barrenos está bien, es decir, que no existen roturas ni interrupciones al paso de la corriente. Un fallo en el circuito implica que queden barrenos cebados y sin detonar, provocando una situación muy peligrosa. La resistencia admisible es de 0,1-0,3  $\Omega$ /m de línea más 1,5-2  $\Omega$ /ud de detonador.

3.4.2.6. *Procedimientos para voladuras y pegas.*

✓ El barreno.

Es un taladro de sección circular que se carga de explosivo, con el objetivo de arrancar y fragmentar roca. Se distinguen tres zonas dentro de un barreno:

1) Carga de fondo.

La que se coloca al final del barreno (extremo opuesto a la boca o perforación) y que contiene explosivo denso y potente.

2) Carga de columna.

Explosivo menos potente que rellena el barreno en su parte central.



3) El atacado.

Relleno de material inerte (no explosivo) con el que se tapona la boca del barreno. El objetivo es evitar que la explosión se disipe por la boca, es decir, que se le vaya la fuerza por la boca o bocazo.

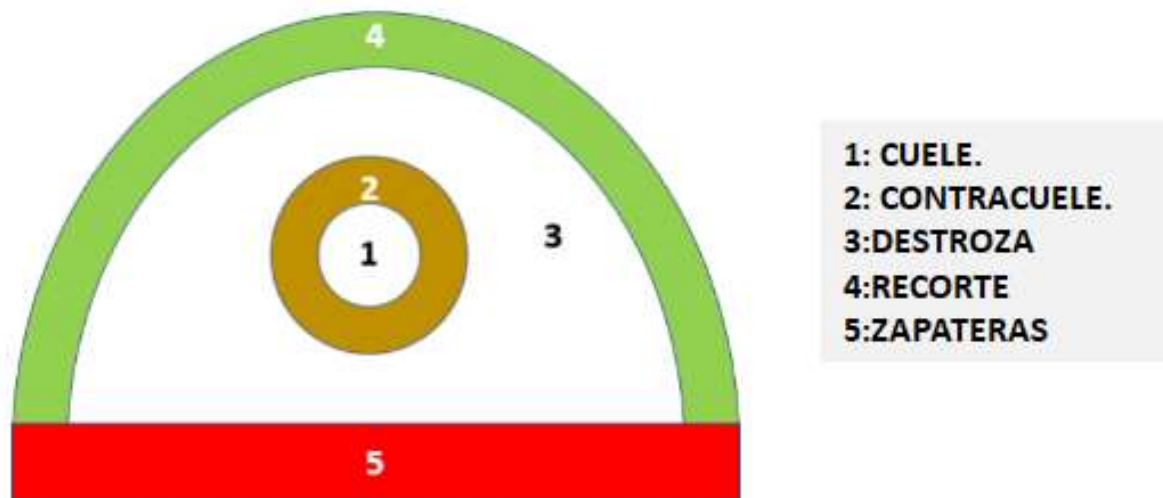
Además, se colocan dentro los detonadores que inician la explosión y el cordón detonante que la transmite a todo el barreno.

Los detonadores de los barrenos perforados y cargados constituyen un circuito cerrado que se comprueba con el ohmímetro y detona con el explosor.

✓ Perforación de túneles.

Las voladuras en el interior de lugares cerrados se les denomina pegas. Las pegas son difíciles de planificar para que sean eficientes debido al problema adicional de eliminación de gases y la dificultad de la retirada de productos.

Como en el interior no existe más frente libre que el frente de perforación es necesario ajustar la secuencia de detonación de los distintos barrenos para conseguir el mayor arranque de roca en el frente. Por ello se distinguen hasta cinco zonas de colocación de barrenos:



*Figura 3-22: Principales sectores a distinguir en una voladura subterránea de avance. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura "Laboreo I". Adaptado de: Ríos Vázquez, 2009, «Curso Básico de Explosivos».*

1. Barrenos de cuele o salida, lo primeros que detonan, abren hueco en el centro de la sección.
2. barrenos de contracuele, detonan a continuación, aprovechan el hueco abierto por los primeros y mueven más material.
3. Barrenos de destroza, aprovechan todo el hueco abierto y mueven material en casi toda la sección.
4. Barrenos de contorno o recorte que perfilan la sección del túnel, ambos suelen estar más juntos y son menos potentes para facilitar el corte de la sección completa.
5. Barrenos zapateros que excavan el fondo del túnel.

Dada la concentración de carga, los barrenos más delicados son los de cuele y contracuele. El consumo de explosivo para la excavación subterránea se sitúa entre 1,5 y 3 Kg/m<sup>3</sup>.





- ✓ Perforación en bancos a cielo abierto.

Por lo general, las voladuras a desarrollar en canteras presentarán al menos un frente libre de ataque de gran dimensión, que además supone una segunda cara libre, complementaria a la que el propio piso implica, que constituye una superficie de rebote de ondas que potencia los mecanismos de rotura de roca asociados al empleo de explosivos. Se procede a la descripción de las voladuras en banco, por ser aquella que a priori presenta una mayor similitud con las que deben considerarse en la ejecución de la presente estructura, tanto de cara a la adecuación del basamento, como para la modificación del vaso. En cualquier caso, conviene señalar igualmente que, especialmente en el caso de la profundización destinada a la obtención del hueco necesario para la ejecución de la cimentación, resultará ineludible la aplicación de la voladura de trinchera, así como la ejecución de otras destinadas a la obtención de materiales de escolleras. En apartados posteriores se presentarán los cálculos detallados de las voladuras diseñadas con objeto de obtener geometrías y granulometrías adecuadas para las exigencias de la obra objeto de estudio en el presente Trabajo Fin de Grado.

En el caso de no contar con la requerida segunda superficie de rebote de las ondas, una vez ejecutada la mencionada trinchera que posibilite dicho talud, la excavación se produce mediante el arranque de secciones de roca en un plano paralelo dicho frente.

La perforación de barrenos suele hacerse desde la plataforma superior del frente y a cielo abierto. Es por ello que, al contrario de lo que sucede en labores de interior, la disipación de humos no constituye un problema de especial relevancia.

Es posible establecer una división en las voladuras en banco, en base al diámetro con el que se perfore. De esta manera, puede distinguirse entre las voladuras de

diámetro medio, y las de gran diámetro. Puede proponerse como límite transicional entre ambas el comprendido entre los 165 y los 180 milímetros. Mientras que, en el caso de las primeras, su desarrollo se basó en la aplicación de la Teoría de la Carga Selectiva, contando como principal exponente la metodología de cálculo desarrollada por Langefors y Kihlström, en el caso de las segundas, el fundamento del cual parten es la denominada Teoría del Cráter o de Livingston. Esta base dispar conlleva que en el caso de las primeras se presente la necesidad de trabajar con dos tipos distintos de explosivos, uno de mayor potencia relativa y densidad, destinado a ir alojado en la zona inferior del barreno, y otro que irá en la columna, generalmente en mayor proporción, de características más modestas.

En el caso de las voladuras de gran diámetro, por el contrario, se postuló el trabajo en base a un único tipo de carga, si bien variantes más recientes compatibilizan sus principios con el empleo de cargas diferenciadas de fondo y columna. La siguiente imagen recoge los principales aspectos geométricos a considerar en una voladura en banco, que serán referidos a continuación.

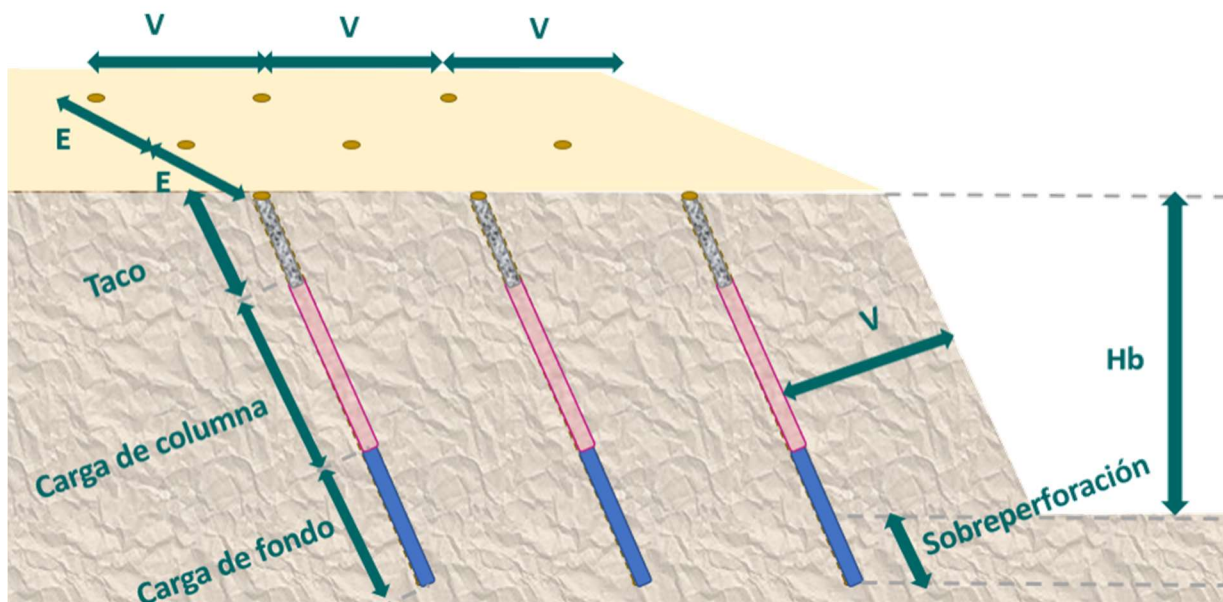


Figura 3-23: Principales parámetros geométricos de las voladuras en banco. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura "Laboreo I". Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. "Manual de Perforación y Voladura de Rocas".



- $F$  = Diámetro de perforación del barreno (en pulgadas o milímetros).
- $V = B = P$  = “Piedra”, Distancia que hay del barreno a la cara / Mínima distancia del fondo del barreno a la cara libre del banco.
- $E$  = Espaciamiento o distancia que hay entre barrenos de una misma fila (m).
- $H_b$  = Altura de banco (m).
- $S_p = J$  = Sobreperforación, longitud de barreno perforada por debajo de la línea del piso de la cantera (m), necesario para cortar por la rasante el piso de la voladura. Si es escasa genera “repiés”, si es excesiva, puede “atronar” el terreno subyacente y ocasionar socavones.
- $R = T$  = Retacado, representa la longitud de barreno que queda sin carga
- $L_b = K$  = Longitud total del barreno, función de la inclinación, de la sobreperforación y la altura de banco (m).
- $Q_f = C_f$  = carga de fondo, cantidad de explosivo en Kg que se introduce en el fondo del barreno.
- $Q_c = C_c$  = carga de columna, es el resto de explosivo en Kg que se introduce sobre la carga de fondo.
- Inclinación de los barrenos o pendiente de los mismos, siendo las más comunes 3:1 ó 1:1. Puede expresarse también en grados sexagesimales.



### 3.4.3. Terraplenado.

Según lo dispuesto en el pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes del año 2002 obtenemos la siguiente información sobre normativa en terraplenes.

La ejecución básica de la obra, como ya se ha mencionado anteriormente es la siguiente:

- Preparación de la superficie de apoyo del relleno tipo terraplén.
- Extensión de una tongada.
- Humectación o desecación de una tongada.
- Compactación de una tongada.

Siendo las tres últimas operaciones reiteradas tantas veces como sea preciso.

#### 3.4.3.1. Zonas de los rellenos tipo terraplén.

En los rellenos tipo terraplén se distinguirán las cuatro zonas siguientes, cuya geometría se definirá en el Proyecto:

- Coronación: Es la parte superior del relleno tipo terraplén, sobre la que se apoya el firme, con un espesor mínimo de dos tongadas y siempre mayor de cincuenta centímetros (50 cm).
- Núcleo: Es la parte del relleno tipo terraplén comprendida entre el cimientado y la coronación.
- Espaldón: Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente, constituirá o formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno entre los que se consideran, plantaciones, cubierta de tierra vegetal, encachados, protecciones antierosión, etc.
- Cimientado: Es la parte inferior del terraplén en contacto con la superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de un metro (1 m).



#### 3.4.3.2. *Materiales.*

Los materiales a emplear en rellenos tipo terraplén serán, con carácter general, suelos o materiales locales que se obtendrán de las excavaciones realizadas en obra. Para la elaboración de este apartado del estudio se recurre a las normas de referencia documentadas en el PG3 (Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes).

Los criterios para conseguir un relleno tipo terraplén que tenga las debidas condiciones irán encaminados a emplear los distintos materiales, según sus características, en las zonas más apropiadas de la obra, según las normas habituales de buena práctica en las técnicas de puesta en obra.

En todo caso, se utilizarán materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Puesta en obra en condiciones aceptables.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

Los rellenos tipo terraplén estarán constituidos por materiales que cumplan alguna de las dos condiciones granulométricas siguientes:

- Cernido, o material que pasa, por el tamiz 20 UNE mayor del 70 por 100 por ciento ( $20 > 70 \%$ ), según UNE 103101.
- Cernido o material que pasa, por el tamiz 0,080 UNE mayor o igual del treinta y cinco por ciento ( $0,080 \geq 35 \%$ ), según UNE 103101.

Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan las especificaciones de este artículo y que sus características fisicoquímicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto. En todo caso se estará a lo dispuesto en la



legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas los materiales se clasificarán en los tipos siguientes (cualquier valor porcentual que se indique, salvo que se especifique lo contrario, se refiere a porcentaje en peso):

- a. Suelos seleccionados. Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:
  - Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ( $MO < 0,2\%$ ), según UNE 103204.
  - Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ( $SS < 0,2\%$ ), según NLT 114.
  - Tamaño máximo no superior a cien milímetros ( $D_{max} \leq 100 \text{ mm}$ ).
  - Cernido por el tamiz 0,40 UNE menor o igual que el quince por ciento ( $0,40 \leq 15\%$ ) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
    - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ( $2 < 80\%$ ).
    - Cernido por el tamiz 0,40 UNE, menor del setenta y cinco por ciento ( $0,40 < 75\%$ ).
    - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al veinticinco por ciento ( $0,080 < 25\%$ ).
    - Límite líquido menor de treinta ( $LL < 30$ ), según UNE 103103.
    - Índice de plasticidad menor de diez ( $IP < 10$ ), según UNE 103103 y UNE 103104.
- b. Suelos adecuados. Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:





- Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ( $MO < 1\%$ ), según UNE 103204.
  - Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ( $SS < 0,2\%$ ), según NLT 114.
  - Tamaño máximo no superior a cien milímetros ( $D_{max} \leq 100 \text{ mm}$ ).
  - Cernido por el tamiz 2 UNE, menor del ochenta por ciento ( $2 < 80\%$ ).
  - Cernido por el tamiz 0,080 UNE inferior al treinta y cinco por ciento ( $0,080 < 35\%$ ).
  - Límite líquido inferior a cuarenta ( $LL < 40$ ), según UNE 103103.
  - Si el límite líquido es superior a treinta ( $LL > 30$ ) el índice de plasticidad será superior a cuatro ( $IP > 4$ ), según UNE 103103 y UNE 103104.
- c. Suelos tolerables. Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, cumplen las condiciones siguientes:
- Contenido en materia orgánica inferior al dos por ciento ( $MO < 2\%$ ), según UNE 103204.
  - Contenido en yeso inferior al cinco por ciento ( $\text{yeso} < 5\%$ ), según NLT 115.
  - Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ( $SS < 1\%$ ), según NLT 114.
  - Límite líquido inferior a sesenta y cinco ( $LL < 65$ ), según UNE 103103.
  - Si el límite líquido es superior a cuarenta ( $LL > 40$ ) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ( $IP > 0,73 (LL-20)$ ).
  - Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento ( $1\%$ ), según NLT 254, para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500, y presión de ensayo de dos décimas de megapascal ( $0,2 \text{ MPa}$ ).
  - Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al tres por ciento ( $3\%$ ), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.



- d. Suelos marginales. Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados, ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplan las siguientes condiciones:
- Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ( $MO < 5\%$ ), según UNE 103204.
  - Hinchamiento libre según UNE 103601 inferior al cinco por ciento (5%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal UNE 103500.
  - Si el límite líquido es superior a noventa ( $LL > 90$ ) el índice de plasticidad será inferior al setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ( $IP < 0,73 (LL-20)$ ).
- e. Suelos inadecuados. Se considerarán suelos inadecuados:
- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.
  - Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.
  - Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen.

### 3.5. EL SECTOR ENERGÉTICO.

Como se mencionó con anterioridad en los apartados dedicados a objeto y alcance, una de las posibles aplicaciones de la estructura cuyo diseño parcial es objeto del presente Trabajo Fin de Grado es la posible obtención de energía a partir de un salto hidráulico. Es por ello que se considera de especial interés llevar a cabo un análisis sobre la incidencia de dicha modalidad de obtención energética sobre el mix energético global de España. Se analizarán igualmente las particularidades de la energía hidráulica, y su incidencia en el marco global de la investigación actual, con objeto de poner de

manifiesto el interés que este tipo de aplicaciones revisten para la comunidad científica y técnica internacional.

La energía constituye un sector clave en la economía, por su valor estratégico, al resultar imprescindible en cualquier proceso productivo, la prestación de servicios, o las propias actividades domésticas. Teniendo estos aspectos en cuenta, los objetivos de una política energética sostenible deben ser la seguridad en el suministro energético, la competitividad de los mercados de la energía y la protección del medio ambiente.

España presenta una fuerte dependencia de las importaciones de petróleo y de gas, que contribuyen a satisfacer la demanda energética del país. Esto es, debido a la escasez de combustibles líquidos y gaseosos autóctonos, fuente principal de consumo de energía primaria en el país, con un 69% del mix de consumo total correspondiente al año 2015.

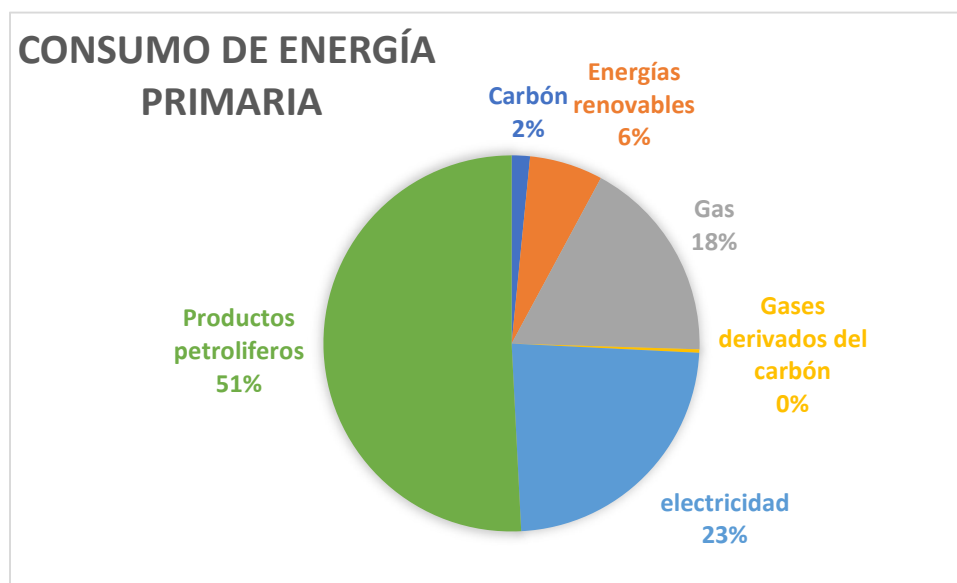


Figura 3-24: Consumo de energía primaria en España. (Fuente: [www.energia16.com](http://www.energia16.com) )

El sistema de generación eléctrica español se basaba hasta hace unos años en la producción de carbón y de energía nuclear, sin embargo, en la última década se han introducido otros sistemas de producción como las renovables. Según la secretaria

española de energía (SEE) las renovables ocupan un 50 por ciento del suministro actual de energía, incluyendo a las hidroeléctricas.

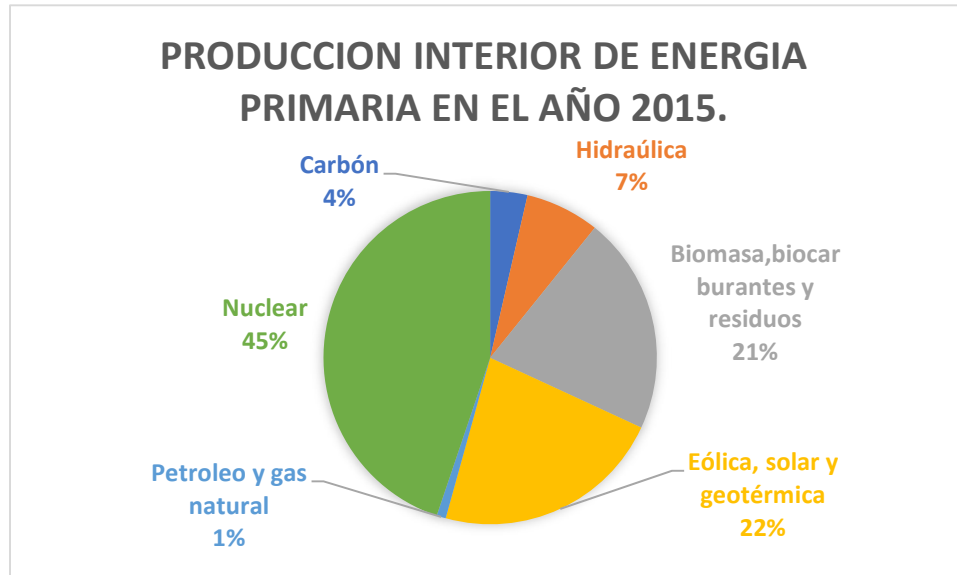


Figura 3-25: Producción interna de energía primaria en España en el año 2015. (Fuente: [www.ine.es](http://www.ine.es))

En España la dependencia de importaciones de energía sigue siendo elevada, lo que supone un encarecimiento en los precios y un lastre para la economía del país, sobre todo cuando los precios de las materias primas son elevados. En España se importa el 70 por ciento de la energía que se consume, según el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, lo que coloca a nuestro país en el noveno país que más energía importa dentro de la Unión Europea.

### 3.5.1. La energía hidráulica.

#### 3.5.1.1. ¿Qué es la energía hidráulica?

El origen de la energía hidráulica está en el sol. Sin él, no se podría llevar a cabo el ciclo hidrológico porque no habría suficiente energía. El ciclo hidrológico se basa principalmente en que grandes cantidades de agua son evaporadas y elevadas a gran altura, donde condensan y precipitan en forma de lluvia, granizo o nieve, alimentando



así acuíferos y ríos, nutriendo las corrientes de agua que serán aprovechadas para la generación de energía en una central hidroeléctrica.

En resumen, la energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior. La energía potencial durante la caída se convierte en energía cinética. El agua, debidamente conducida, pasa por unas turbinas a gran velocidad, provocando el movimiento de estas. A través de los generadores se obtiene energía eléctrica a partir del movimiento de las turbinas. La cantidad de energía que se puede llegar a producir depende de dos factores: de la altura del salto de agua, y del caudal. Cuanto mayor sean ambos, mayor será la cantidad de energía eléctrica producida.

La energía hidráulica es un recurso renovable, ya que su generación está asegurada siempre y cuando el ciclo de agua continúe. De esta manera, el agua puede contribuir además al mantenimiento del ecosistema, a la generación de energía. Podrían plantearse otras formas de aprovechamiento energético en las que el agua podría ser participe, como por ejemplo la geotermia, si bien dada la naturaleza del presente Trabajo Fin de Grado, hace que el ámbito sujeto a descripción se constriña a la tecnología hidroeléctrica.

#### *3.5.1.2. Características de la energía hidráulica.*

El Sistema Español de Información sobre el Agua (HISPAGUA) nos hace conocedores de algunas de las características que hacen de la energía hidráulica la fuente de energía renovable más utilizada del mundo, éstas son:

- Rentabilidad.

Por un lado, la energía hidráulica posee la mejor relación entre la energía producida y la consumida. Se estima que una central hidroeléctrica produce, aproximadamente, unas 200 veces más energía de la que se emplea en tareas de construcción y mantenimiento.



Por otro lado, la vida útil de estas instalaciones puede superar los 100 años, como es el caso de varias instalaciones que se encuentran actualmente en funcionamiento, por ejemplo, las centrales hidroeléctricas de Orotz-Betelu y Olaldea en el río Irati, en la Comunidad Autónoma de Navarra, o la central hidroeléctrica de La Malva, inaugurada en el año 1917, localizada en Pola de Somiedo, en Asturias.

Por último, los avances en generadores y turbinas permiten que actualmente se pueda convertir el 90% de la energía que está presente en el agua en electricidad. Esto supone una tasa muy superior al resto de formas de generación.

- Impacto ambiental.

Exceptuando a las grandes centrales hidroeléctricas, que disponen de embalses que afectan de manera significativa al entorno, el resto de las instalaciones producen un impacto ambiental escaso.

Debido a lo anterior, la energía hidráulica no está considerada como una energía limpia, salvo en el caso de las minicentrales. Las plantas de dichas minicentrales tienen una producción inferior a 10 MW y sus presas no superan los 15 metros de altura. Por encima de ese nivel se considera impacto ambiental excesivo para poder considerar esa forma de generar energía eléctrica como no contaminante.

Las grandes presas bloquean las migraciones de los peces, impidiendo que alcancen sus lugares de desove habituales, y los embalses alteran al flujo, temperatura, propiedades químicas y depósito de sedimentos de los ríos y corrientes.

Las presas y embalses ocupan además terrenos que podrían destinarse a aprovechamientos agrícolas y ganaderos, o simplemente terrenos de gran





riqueza natural y paisajística. En ocasiones han provocado la inundación de poblaciones, provocando el éxodo de sus habitantes.

La generación de electricidad a partir de energía hidroeléctrica no conlleva la emisión de gases a la atmosfera, ni la generación de calor. Según estimaciones, en la actualidad, la energía hidroeléctrica evita la emisión de 249 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

- Seguridad.

Las centrales hidroeléctricas no son un problema de seguridad para las personas o para el entorno, salvo en el caso de un embalse deteriorado o agrietado en el que se puede producir un accidente.

Los embalses pueden considerarse como una barrera de protección ante crecidas imprevistas, regulando así el caudal del río.



La tabla 1 recoge de forma resumida las principales ventajas y desventajas asociadas a la tecnología.

Tabla 3-8: Principales ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Es un recurso inagotable, una energía renovable.</li><li>2. Es autóctona, por lo que se reducen las importaciones de energía eléctrica desde otros países.</li><li>3. No necesita sistemas de refrigeración o calderas.</li><li>4. No contamina la atmósfera.</li><li>5. Permite almacenar agua para regadíos y otros usos de emergencia.</li><li>6. Las presas permiten la regulación del caudal de los ríos.</li><li>7. Es flexible, ajustando el flujo de agua se puede producir más o menos electricidad.</li><li>8. Es una fuente de energía muy estable.</li><li>9. Segura, su único combustible es el agua.</li><li>10. Tiene costes de explotación y mantenimiento bajos.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El rendimiento depende de las condiciones meteorológicas.</li><li>2. Se hace necesaria la presencia de corrientes fluviales grandes, una orografía accidentada y una infraestructura para conducir la electricidad.</li><li>3. Las grandes presas alteran los ecosistemas.</li><li>4. Los embalses plantean problemas sociales y demográficos.</li><li>5. Aumento en la contaminación del agua por estancamiento.</li><li>6. La construcción de una central hidroeléctrica es cara.</li></ol>



### 3.5.1.3. *Historia de la energía hidráulica.*

La fuerza del agua ha sido aprovechada desde la antigüedad para diversos usos, como, por ejemplo, moler grano o triturar materiales con alto contenido en celulosa para la producción de papel. Este hecho lo corroboran los numerosos molinos de agua conservados en diferentes partes del mundo.

La producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de la energía que proporciona el agua no se produjo hasta los inicios de la Revolución Industrial.

En este periodo se produce una gran demanda de energía en la parte norte de Europa, debido a la creciente industrialización. Esta demanda fue suplida en gran medida por la energía hidroeléctrica, ya que en aquel momento las extracciones de carbón no eran suficientes para cubrir toda la demanda energética, por ejemplo, la población de Inglaterra y Gales experimentó en aproximadamente 60 años, un crecimiento de 2,3 millones de personas. 50 años más tarde, la población de entonces dobló su crecimiento alcanzando los 16,8 millones de personas en 1850.

Poco a poco, la demanda de electricidad fue en aumento. Durante los meses de verano y otoño, el caudal de los ríos bajaba y el invierno, con los deshielos, se desbordaban. Por ello se hizo necesaria la construcción de presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor. Este remplazamiento se debió a que las ruedas hidráulicas eran utilizadas en centrales hidroeléctricas sin presas de contención.

La primera central hidroeléctrica que se construyó fue en 1880, en Northumberland, Reino Unido. Un año más tarde, se comenzó a aprovechar la energía procedente del agua de las cataratas del Niágara. En los diez años siguientes, según el Sistema Español de Información sobre el Agua, tan solo en Estados Unidos y en Canadá, existían más de 200 centrales hidroeléctricas.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, se produce la invención del generador eléctrico y se perfeccionan las turbinas hidráulicas. Estos hechos provocan el rápido crecimiento de esta forma de generar energía eléctrica.



A pesar de que las tecnologías de producción no han experimentado grandes revoluciones desde principios del siglo XX, sí se han desarrollado nuevos mecanismos para optimizar el rendimiento. Hoy en día existen diferentes tipos de turbinas que son utilizadas de acuerdo con la altura del salto del agua de cada central hidroeléctrica.

*Tabla 3-9: Principales títulos existentes de turbinas.*

ALTURA DEL SALTO	TURBINA
Más de 100 metros	Pelton, Turgo o Francis
Entre 20 y 100 metros	Francis o Crossflow
De 5 a 20 metros	Crossflow, Propeller o Kaplan
Menos de 5 metros	Propeller o Kaplan

El aprovechamiento del agua como fuente de energía eléctrica supone grandes inversiones de dinero, en zonas donde el carbón y el petróleo es muy barato, no resulta una opción competitiva económicamente. Sin embargo, los movimientos y la concienciación medioambiental ejercen un gran peso a su favor, que unido al poco mantenimiento que requieren dichas centrales una vez están en funcionamiento, hacen de la opción de una central hidroeléctrica, una opción acertada.

Los países en los que la energía hidráulica constituye una fuente importante de energía eléctrica son: Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay, se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo.

#### *3.5.1.4. La energía hidráulica en la actualidad.*

La energía hidroeléctrica sigue siendo la energía renovable más utilizada en el mundo. Aproximadamente un 20% de la energía consumida en el mundo, según estimaciones, tiene origen hidroeléctrico. En los países en desarrollo este porcentaje aumenta hasta el 33%. Si se hace una comparativa con todas las energías renovables, puede observarse que el 90% de la generación de energía proviene de la hidrogenación.



La energía hidroeléctrica se encuentra en estado de crecimiento en áreas menos desarrolladas. Según la UNESCO, entre 1995 y 2010 la producción de energía hidroeléctrica creció aproximadamente un 65% en todo el mundo, siendo especialmente importante este crecimiento en países como Asia, África y América Latina. En dichos países se aprovecha aproximadamente el 7% de su potencial hidroeléctrico, en cambio, en áreas más desarrolladas, como por ejemplo Europa, el porcentaje de aprovechamiento del potencial hidroeléctrico es del 75%. Con estos datos se espera que el crecimiento de países en desarrollo conlleve un gran aumento en el aprovechamiento de los recursos hídricos.

La generación de energía hidráulica es un sistema extendido a nivel mundial, incluso a países que no cuentan con desniveles orográficos significativos, como es el caso de Holanda. Actualmente, Canadá, Estados Unidos y China son los mayores productores de energía hidráulica del mundo.

#### *3.5.1.5. La energía hidráulica actualmente en España.*

Los datos recogidos en el Boletín Mensual de Red Eléctrica Española, correspondiente al mes de diciembre de 2017, permite estudiar la situación energética actual de España.

Como puede observarse, las energías renovables aumentan en el país con el paso del tiempo. Así, la energía hidráulica tiene un gran peso dentro de la producción española con un 5% de la producción total de 2017, teniendo en cuenta no solo renovables, sino también no renovables. Aun así, la energía hidráulica se ve superada por la energía eólica, que alcanzó un 25,1% de la producción en 2017, y se coloca en la cabeza de la producción de energía renovable en el país.

Conviene señalar que los gráficos que se van a mostrar a continuación no tienen en cuenta la generación de energía hidráulica por bombeo, entendiendo como tal un tipo especial de central hidroeléctrica que tiene dos embalses. El agua contenida en el embalse inferior, el que tiene una menor cota, es bombeada durante las horas de menor demanda eléctrica al depósito situado en la cota más alta, el embalse superior, con el

fin de hacerlo pasar por unas turbinas y generar, posteriormente, electricidad en las horas de mayor consumo eléctrico.

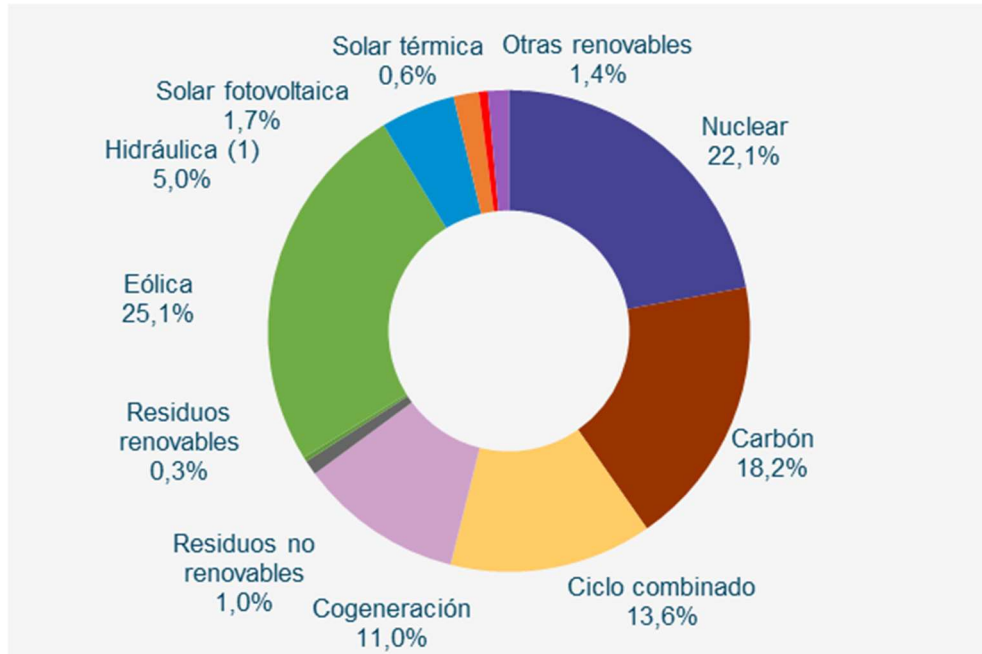


Figura 3-26: Estructura de generación mensual peninsular. Fuente: ([www.ree.es](http://www.ree.es) ).



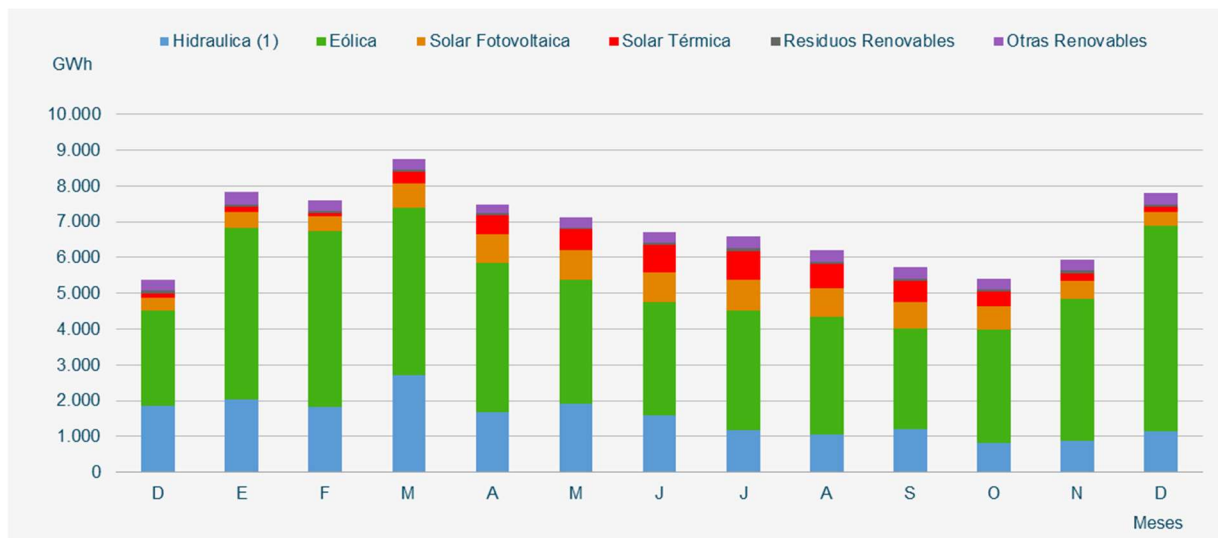


Figura 3-27: Evolución de la generación renovable peninsular. Fuente: ([www.ree.es](http://www.ree.es)).

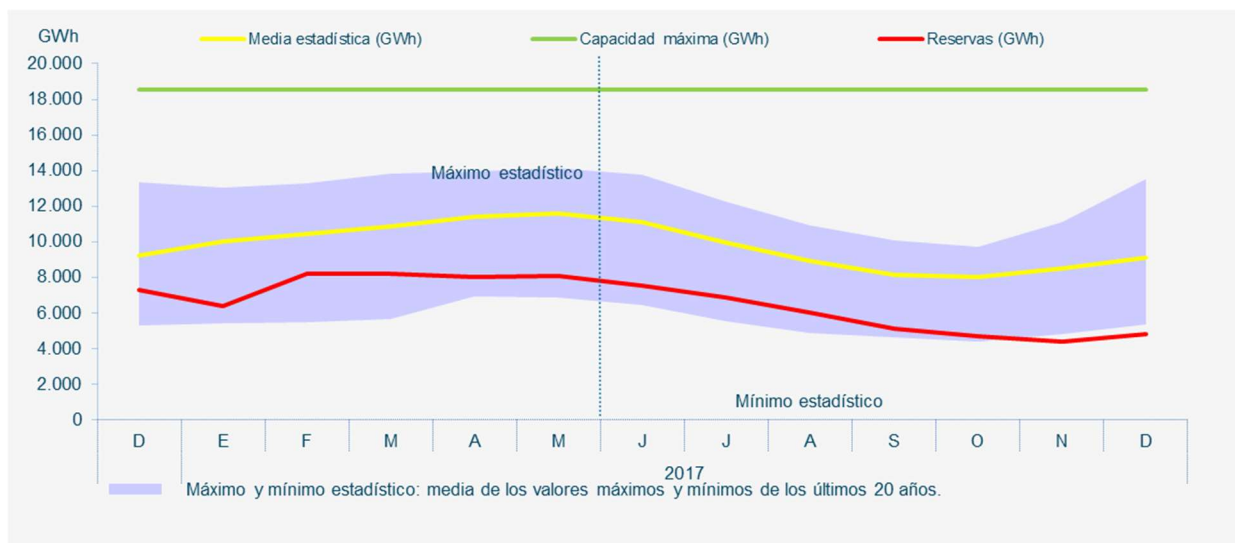


Figura 3-28: Evolución del peso de la generación renovable y no renovable peninsular. Fuente: ([www.ree.es](http://www.ree.es)).

España cuenta en la actualidad con aproximadamente 800 centrales hidroeléctricas, con un rango de tamaño muy variado. Las 20 centrales de más de 200 MW representan en conjunto el 50% de la potencia hidroeléctrica total instalada en el país. Por otra parte, existen centenares de centrales con potencias menores de 20 MW.

En el mapa que se presenta en la Figura 11, están representadas las centrales hidroeléctricas de España, las 10 centrales mayores son las que van acompañadas de su nombre. A continuación, se muestra además de su nombre, su potencia y su volumen de embalse.

1. Central de Aldeadávila. 1.243 MW. Iberdrola. 114,3 Hm<sup>3</sup>.
2. Central José María de Oriol, Alcántara. 957 MW. Iberdrola. 3.162 Hm<sup>3</sup>.
3. Central de Villarino. 857 MW. Iberdrola. 2.413 Hm<sup>3</sup>.
4. Central de Cortes-La Muela. 630 MW. Iberdrola. 23 Hm<sup>3</sup>.
5. Central de Saucelle. 520 MW. Iberdrola. 181,50 Hm<sup>3</sup>.
6. Central de Cedillo. 500 MW. Iberdrola. 260 Hm<sup>3</sup>.
7. Central Estany-Gento Sallente. 468 MW. Endesa. 6,5 Hm<sup>3</sup>.
8. Central de Tajo de la Encantada. 360 MW. Endesa. 4,3 Hm<sup>3</sup>.
9. Central de Aguayo. 360 MW. Viesgo. 32,9 Hm<sup>3</sup>.
10. Central de Mequinenza. 324 MW. Endesa. 1.530 Hm<sup>3</sup>.



Figura 3-30: Centrales hidroeléctricas en España. Fuente: ([www.elperiodicodelaenergia.com](http://www.elperiodicodelaenergia.com) ).



#### *3.5.1.6. La energía hidráulica en el futuro.*

A corto plazo, la energía hidráulica seguirá siendo la principal fuente renovable generadora de electricidad. Según las previsiones presentadas por la Comisión Europea en 2005, en el año 2030 aproximadamente, la energía eólica superará los niveles de producción eléctrica de la energía hidráulica de la Unión Europea, debido a que es en la actualidad la energía renovable con mayores ratios de crecimiento.

La generación de energía hidráulica es una forma de generación estable, madura y eficaz, que tendrá un crecimiento moderado y sostenido. A pesar de que, en muchos países la generación de hidroelectricidad no cuenta con ayudas públicas que sufraguen los gastos de instalación, sí se beneficia de los incentivos económicos asignados a las renovables. En Europa, el mayor desarrollo vendrá con las centrales minihidráulicas. Son centrales de poca potencia instalada, inferior a 10 MW, que resultan muy interesantes en cuanto a su poco o escaso impacto ambiental, por lo que son fomentadas por las autoridades medioambientales y energéticas.

#### *3.5.2. Las centrales hidroeléctricas.*

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que permiten el aprovechamiento de la energía potencial gravitatoria contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía eléctrica mediante el turbinado del agua, acoplando las turbinas a generadores eléctricos.

##### *3.5.2.1. Componentes de una central hidroeléctrica.*

Una central hidroeléctrica está formada por ciertos elementos indispensables para su correcto y eficiente funcionamiento. Desde las presas donde se contiene el agua que va a ser utilizado para la generación eléctrica hasta las turbinas que son las encargadas de transformar esa energía, pasando por otros elementos indispensables como los



aliviaderos, las tomas de agua o las tuberías forzadas que se explican con más detalle a continuación.

✓ Presas.

Las presas son un componente de las centrales hidroeléctricas, pero no se encuentra en todas ellas. Su función es retener el agua de la corriente, acumulándola en una cota elevada, para después ser liberada de manera controlada y poder aprovecharla.

Toda la información referente a presas está en el apartado 4.2, 4.3 y 4.4.

✓ Aliviaderos.

Los aliviaderos son elementos de las presas que tienen la misión de liberar parte del agua retenida o embalsada evitando su paso por la sala de máquinas. Los aliviaderos pueden ir dotados o no de compuertas.

Las centrales hidroeléctricas disponen de aliviaderos, compuertas y válvulas para permitir el paso del agua desde el embalse hasta el cauce del río, aguas abajo, para evitar el peligro de las avenidas, que pueden provocar una subida del nivel del agua en el embalse que sobrepase el máximo permitido.

Las compuertas y válvulas permiten regular y controlar los niveles de agua en el embalse para aliviar grandes volúmenes de agua o para cubrir necesidades agrícolas, evacuando el agua sin que tenga que pasar por la central. Cuando se descarga desde gran altura el agua cae en una cuenca de amortiguación, que se encuentra a pie de presa y evita que se produzcan daños en el entorno.

Los aliviaderos de superficie descargan el agua próxima a la superficie libre del embalse. Por el contrario, los desagües de fondo descargan el agua del fondo o del medio fondo, permitiendo la salida del agua de las capas más profundas. Los desagües de fondo pueden ser de aguja, de mariposa, de compuerta o de chorro hueco.



*Figura 3-31: Aliviadero en superficie. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*





Figura 3-32: Desagüe de fondo. (Fuente: [www.flickr.com](http://www.flickr.com) ).

✓ Tomas de agua.

Las tomas de agua son construcciones que permiten recoger el agua para llevarlo hasta las turbinas por medio de canales o tuberías. En el interior de la tubería, el agua transforma la energía potencial en cinética. Se sitúan en la pared anterior a la presa, la que da al embalse.

Las aperturas por las que se recoge el agua, además de tener unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, están protegidas por rejillas para evitar la presencia de cuerpos en suspensión que puedan llegar a los álabes y producir defectos.

Desde las tomas de agua, el agua pasa a la tubería forzada que atraviesa a presión el cuerpo de la presa.

- ✓ Tubería forzada o tubería de presión o impulsión.

Como se ha mencionado anteriormente, el agua pasa de las tomas de agua a las tuberías forzadas que con el fin de impulsar el agua y mejorar la capacidad de generación de la presa.

Estas tuberías están diseñadas especialmente para reducir las pérdidas de energía que se pudieran producir, llevando el agua hasta la turbina en la casa de máquinas.

La tubería forzada tiene que soportar la presión que produce la columna de agua, además de la sobrepresión que puede provocar un golpe de ariete en el caso de que se produzca una parada brusca en la circulación del agua. Dependiendo de la orografía y de los factores medioambientales, la colocación de la tubería forzada será subterránea o exterior.



Figura 3-33: Tubería forzada. (Fuente: <http://ecovive.com> )





✓ Turbinas.

La turbina hidráulica es la encargada de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por este motivo es muy importante saber elegir la turbina adecuada para cada sistema hidroeléctrico.

Las turbinas se pueden clasificar de varias maneras:

1. Según la dirección en la que entra el agua en la turbina:

Turbinas axiales: el agua entra en el rodete en la dirección del eje.

Turbinas radiales: el agua entra en sentido radial, no obstante, el agua puede salir en cualquier dirección.

2. Según la dirección del eje:

Horizontales.

Verticales.

3. Según el sentido del agua con respecto al rodete.

Turbinas de chorro o de acción simple o directa: el único efecto que se produce es el de la velocidad del agua, coincidiendo el sentido del chorro con el sentido de giro del rodete. (Turbina Pelton).

Turbinas de sobrepresión o de reacción: en este tipo de turbinas además de la velocidad del agua interviene la presión, no siendo coincidente el sentido del chorro y el giro. (Turbina Francis y Kaplan).

Las turbinas más usuales son las mencionadas anteriormente, la turbina Pelton, la Francis y la Kaplan, sus características principales son:

- Turbina Pelton: conocida también con el nombre de turbina de presión. Este tipo de turbinas son adecuadas para los saltos de gran altura y para los caudales que son relativamente pequeños. La forma más habitual en la que podemos encontrar este tipo de turbinas es con la disposición horizontal del eje.



Figura 3-34: Turbina Pelton. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Turbina Francis: es una turbina que se puede denominar también turbina de sobrepresión, porque la presión es variable en las zonas del rodillo. Este tipo de turbinas pueden utilizarse en distintos tipos de saltos, con distintas alturas, dentro de un amplio margen de caudal. Su rendimiento óptimo se da cuando trabajan con un caudal entre el 60% y el 100% del caudal máximo. La forma más habitual de encontrar este tipo de turbinas es con el eje vertical, pero también puede encontrarse con la disposición del eje en horizontal.



*Figura 3-35: Turbina Francis. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).*

- Turbina Kaplan: este tipo de turbinas son de admisión total y de reacción. Se usa en sats de pequeña altura con caudales medianos y grandes. Habitualmente podemos encontrarlas instaladas con el eje en posición vertical, pero también es posible su instalación de forma horizontal o inclinada.



Figura 3-36: Turbina Kaplan. (Fuente: [www.zeco.it](http://www.zeco.it) ).

#### 3.5.2.2. Tipos de centrales hidroeléctricas.

Existen varias formas de clasificación de las centrales hidroeléctricas. A continuación, se analizarán los principales criterios, establecidos en base al recorrido del agua y a la altura del salto de agua en una central hidroeléctrica. Otra clasificación que existe de las centrales hidroeléctricas es según la potencia instalada, pueden ser:



- Centrales hidroeléctricas de gran potencia: más de 10 MW de potencia eléctrica.
- Minicentrales hidráulicas: entre 1 MW y 10 MW de potencia eléctrica.
- Microcentrales hidráulicas: menos de 1 MW de potencia eléctrica.

#### 1. Clasificación según el recorrido del agua.

Una central hidroeléctrica puede abastecerse del agua que necesita para la producción de energía eléctrica de distintas maneras. A continuación, se desarrolla la clasificación según el recorrido del agua, es decir, como llega el agua a las centrales hidroeléctricas.

##### - Centrales de agua fluyente.

También llamadas centrales de pasada o centrales a filo de agua. Son aquellas que no disponen de un embalse o acumulación de agua por encima de las turbinas, por lo que la energía se produce al paso de una corriente. El terreno no tiene mucho desnivel y es necesario que el caudal del río sea lo suficientemente constante como para asegurar una potencia determinada durante todo el año. En algunos casos, y con el simple objetivo de evitar la pérdida de producción cuando la corriente baja más crecida, se construye una pequeña presa para controlar las variaciones estacionales. Suelen estar instalados en ríos con gran caudal, y el salto es de pequeña altura. Adquieren su potencia máxima en la temporada de lluvias, y la mínima en periodos de sequía.

##### - Centrales de agua embalsada o con embalses.

Al contrario que las anteriores, disponen de un embalse de agua que regula la cantidad de agua que pasa a las turbinas, regulando, además, el caudal del río. Suelen ser centrales con grandes caídas de agua y poco caudal, y su producción de electricidad se puede adaptar a la demanda, es decir, con el embalse puede producirse energía eléctrica durante todo el año, aunque el río se seque completamente durante algunos meses. Esto, sería imposible



con una central de agua fluyente. Este tipo de centrales exigen, generalmente, una inversión de capital mayor que las centrales de agua fluyente. Existen dos tipos de centrales dentro de esta categoría:

a) Centrales a pie de presa.

En este caso, la central está anexa a una o varias presas que acumulan agua por encima de las turbinas. La gran ventaja que supone frente a las de agua fluyente es que se puede regular el caudal que se emplea para la producción de electricidad, evitando, en la mayoría de los casos, las fluctuaciones derivadas de las épocas de sequía. La mayor producción de estas centrales conlleva, una inversión mucho mayor, derivado de la construcción de la presa. Además, este tipo de instalaciones pueden provocar altos impactos ambientales, además de problemas sociales derivados de la inundación de zonas pobladas o de valor ecológico.

b) Centrales por derivación de las aguas: las aguas del río son desviadas mediante una pequeña presa y son conducidas mediante un canal con una pérdida de desnivel tan pequeña como sea posible, hasta un pequeño depósito llamado cámara de carga o de presión. De esta sala arranca una tubería forzada que va a parar a la sala de turbinas. Posteriormente, el agua es devuelta río abajo, mediante un canal de descarga. Se consiguen desniveles más grandes que en las centrales a pie de presa.

- Centrales de bombeo o reversibles.

Esta tipología hace posible un uso más racional de los recursos hidráulicos. Utilizan dos embalses situados en niveles diferentes. Cuando la demanda de energía es alta, la central funciona de manera convencional, dejando caer el





agua del embalse superior al inferior, y haciendo funcionar las turbinas, quedando después almacenada en el embalse inferior. En el momento en que la demanda es menor, se bombea el agua del embalse inferior al superior, para volver a iniciar el ciclo. Con este sistema es posible regular de manera más racional la producción, y poseen un tiempo de arranque muy corto.

## 2. Clasificación según la altura del salto de agua.

- De alta presión.

Tienen grandes saltos, mayores de 200 metros. Desalojan pequeños caudales, inferiores a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Suelen estar construidas en zonas de alta montaña, y poseen conducciones muy largas.

Por lo general, utilizan turbinas Pelton, y en menor medida, Francis.

- De media presión.

Poseen saltos entre 20 y 200 metros, con caudales alrededor de los  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Suelen situarse en zonas de baja y media montaña y utilizan agua embalsada (suelen estar anexas a grandes presas).

Suelen utilizar turbinas Francis y Kaplan. En grandes saltos, también incorporan turbinas Pelton.

- De baja presión.

Con saltos menores de 20 metros y caudales que pueden alcanzar los  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Utilizan turbinas Francis y Kaplan.





### 3.5.3. Estado de la investigación en instalaciones de generación hidroeléctrica.

Con objeto de justificar la relevancia del presente Trabajo Fin de Grado con respecto al marco actual de la investigación, se ha recurrido a la realización de un análisis de las principales temáticas y líneas desarrolladas durante los últimos años en el campo de las centrales hidroeléctricas y las presas de tierra. Para ello se recurre a dos bases de datos de gran relevancia y popularidad en el ámbito académico: Web of Science y Scopus, accesibles a través de las bases de datos de la Biblioteca de la Universidad de Cantabria (<https://web.unican.es/buc/recursos/bases-de-datos>).

Scopus: (<https://www.scopus.com>) es una gran base de datos bibliográfica de literatura científica, multidisciplinar e internacional, con análisis de citas desde 1996, realizando informes de citas para agregados de referencias, por años, en forma de tablas; calcula el índice h (el índice h es un sistema propuesto por Jorge Hirsch, de la Universidad de California, para la medición de la calidad profesional de físicos y de otros científicos, en función de la cantidad de citas que han recibido sus artículos científicos.); permite búsquedas por organismo de afiliación; análisis bibliométrico comparativo de revistas, etc. Contiene unos 66 millones de referencias de documentos publicados. Cubre todas las ramas de conocimiento, y proporciona enlaces a los textos completos de los documentos. En cada búsqueda, Scopus ofrece, además, resultados añadidos sobre patentes de varias importantes oficinas nacionales.

El análisis de la fecha de publicación de los 844 documentos más relevantes encontrados en Scopus al buscar bajo el criterio “Hydroelectric Power Plant”, devuelve los datos recogidos en la Figura 1. Conviene señalar que la búsqueda implica el periodo comprendido entre 1966 y 2017, pudiendo destacar un máximo absoluto en el año 1995, y una tendencia sensiblemente constante en el número de publicaciones indexadas en el periodo 2011-2017.

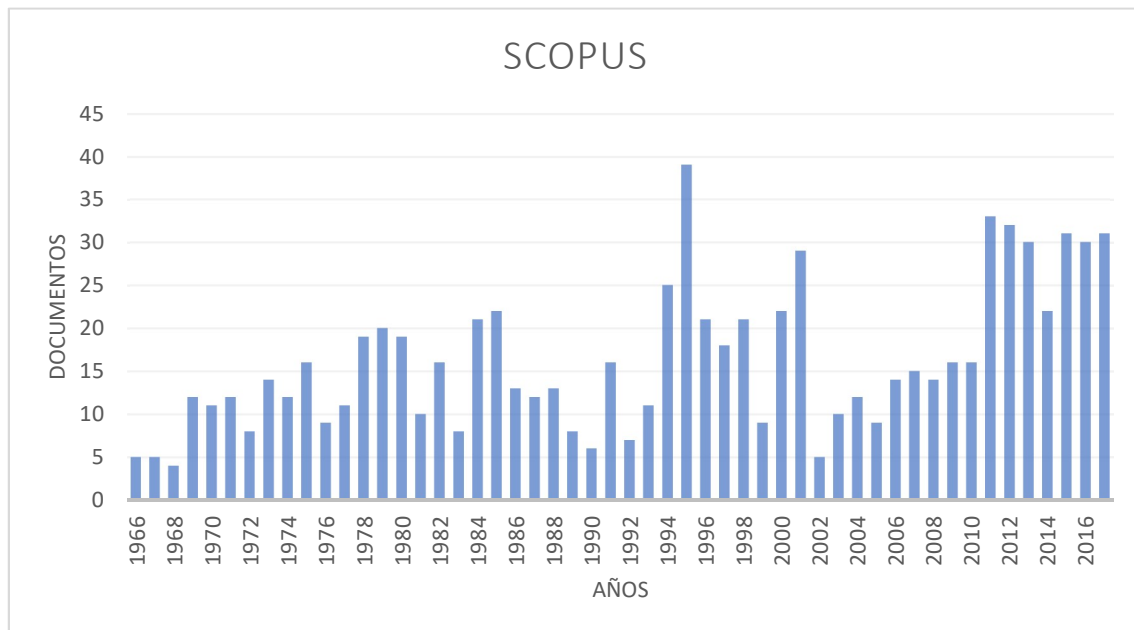


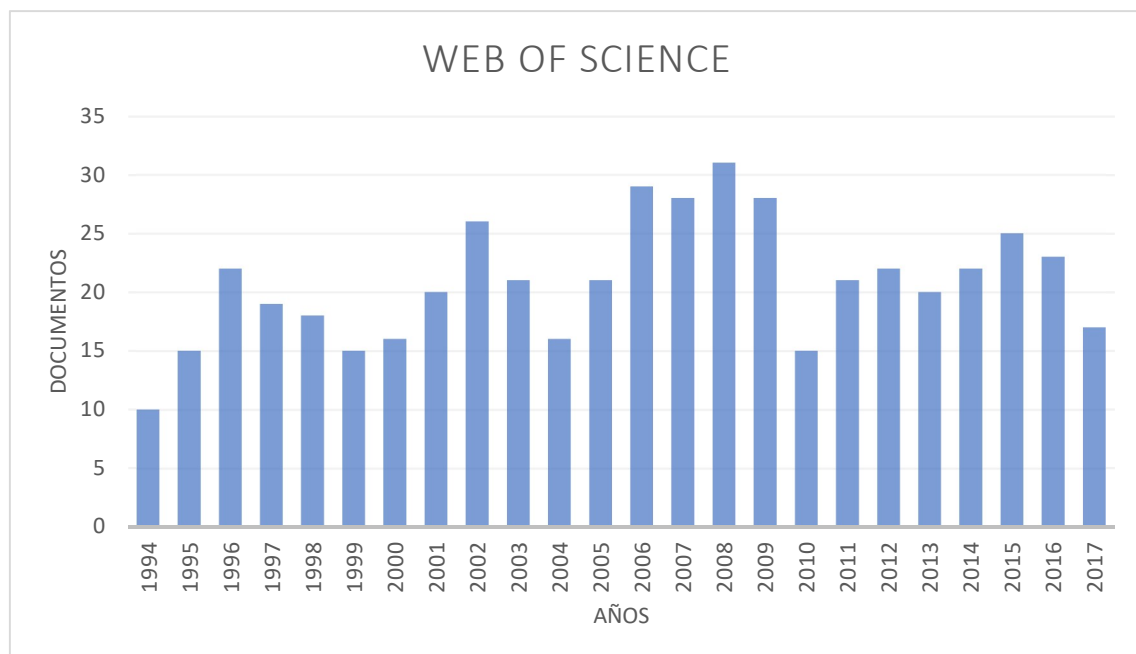
Figura 3-37: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a plantas hidroeléctricas localizadas en la plataforma Scopus.

Con respecto a Web of Science, esta plataforma de acceso a bases de datos de información científica permite hacer búsquedas bibliográficas simultaneas o rastreos más especializados. Además de una información científica muy relevante para la difusión y evaluación de la investigación, facilita análisis, informes y mapas sobre citas de los artículos, autores y grupos de referencias. Para rastrear el contenido de las bases de datos dispone de diversas herramientas: índices, consulta booleana, enlaces a texto completo, exportación de resultados, alertas y servicios personalizados, listas individuales de revistas, sistema de identificación de investigadores, etc.

Siguiendo la clasificación de entradas aplicada en Scopus, considerando el caso de Web of Science, los 500 documentos más relevantes. Debido al funcionamiento de la propia plataforma y los criterios de búsqueda avanzada, en el caso de Web of Science la búsqueda hubo de restringirse a las 500 entradas más relevantes, obtenidas a partir de la introducción del criterio de búsqueda “Hydroelectric Power Plant”. Dicha circunstancia condiciona también el ámbito temporal del análisis, limitándose en este caso al periodo comprendido entre 1994 y 2017 (Figura 38). En cualquier caso, este primer análisis centrado en la fecha de publicación de los documentos indexados en ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.

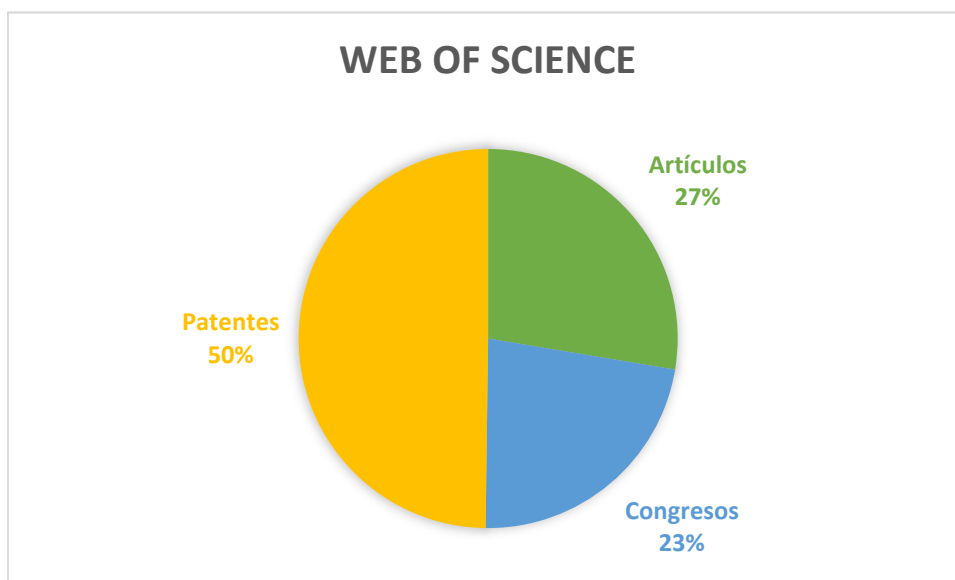


ambas plataformas puede resultar interesante para poner de manifiesto, además del interés de la temática objeto de estudio en el presente Trabajo Fin de Grado, los diversos criterios de clasificación existentes entre ambas plataformas, tendiendo por lo general esta última a ser más restrictiva. Así, teniendo en cuenta la plataforma Web of Science, el máximo absoluto de publicaciones anuales estaría más próximo al periodo actual que el proporcionado por Scopus (2008 frente a 1995), con una notable estabilidad en cuanto a número de publicaciones se refiere en el periodo comprendido entre 2011 y 2016.



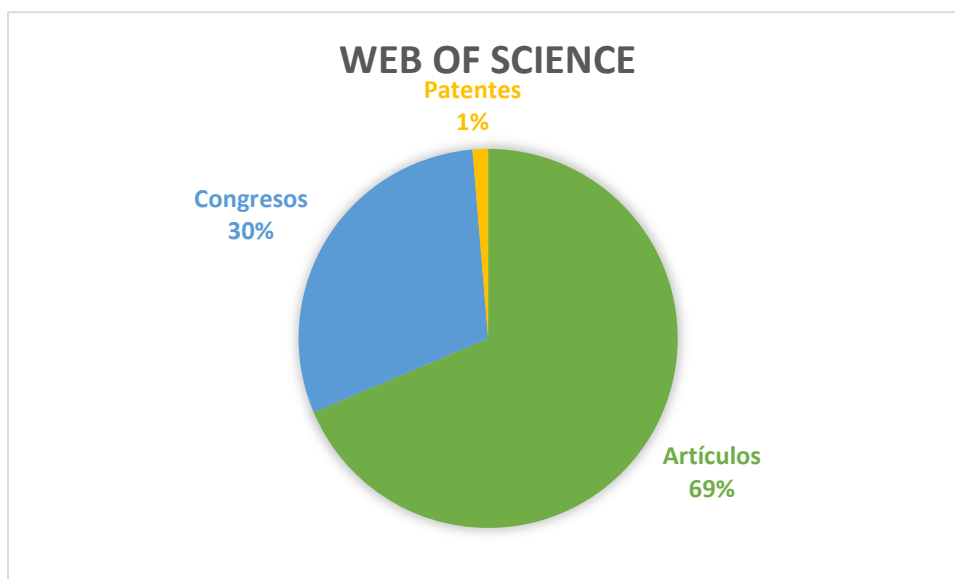
*Figura 3-38: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a plantas hidroeléctricas localizados en la plataforma Web of Science.*

Tomando como base de referencia Web of Science, resulta interesante igualmente analizar la naturaleza de los documentos devueltos por la búsqueda anteriormente señalada. Para ello se considera tanto el marco temporal 1994-2017. Durante dicho periodo destacan fundamentalmente las patentes (50%), seguidas de artículos (27%) y contribuciones a congresos (23%).



*Figura 3-39: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 1994-2017 en base a su naturaleza.*

Esta distribución no se sostiene si la búsqueda se reduce al periodo 2010-2017, que ha conllevado la reducción del porcentaje de patentes hasta un 1%, incrementándose notablemente la presencia en el reparto de los artículos, hasta alcanzas un 69% del total.



*Figura 3-40: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 2010-2017 en base a su naturaleza.*



Por último, se hace una clasificación según la temática de los documentos que se presentan tanto en la página de Web of Science como en Scopus. Los cuatro temas elegidos para su reparto son medio ambiente, modificaciones, optimización y nuevos desarrollos.

En ambas bases de datos podemos observar que el 45% de los documentos que encontramos están basados en nuevas tecnologías, es decir, son documentos en los que se plantean ideas, estudios y proyectos sobre centrales hidroeléctricas y sobre toda la tecnología que les rodea.

En el caso de la temática de medio ambiente, se observa un aumento del porcentaje de estos documentos en la plataforma de Web of Science, 24% frente al 17% de los documentos de Scopus. Básicamente estos documentos plantean problemas en la flora, fauna y en las zonas afectadas por las centrales hidroeléctricas y las posibles soluciones a los mismos.

Las temáticas de modificaciones y optimización son las que obtienen un menor porcentaje en ambas plataformas, siendo la temática de optimización la más pequeña. En los documentos clasificados como modificaciones encontramos información sobre reformas y cambios en ciertos ámbitos de las centrales hidroeléctricas. En el caso de los documentos clasificados como optimización encontramos información referente a mejoras en ciertas características de las centrales hidroeléctricas.

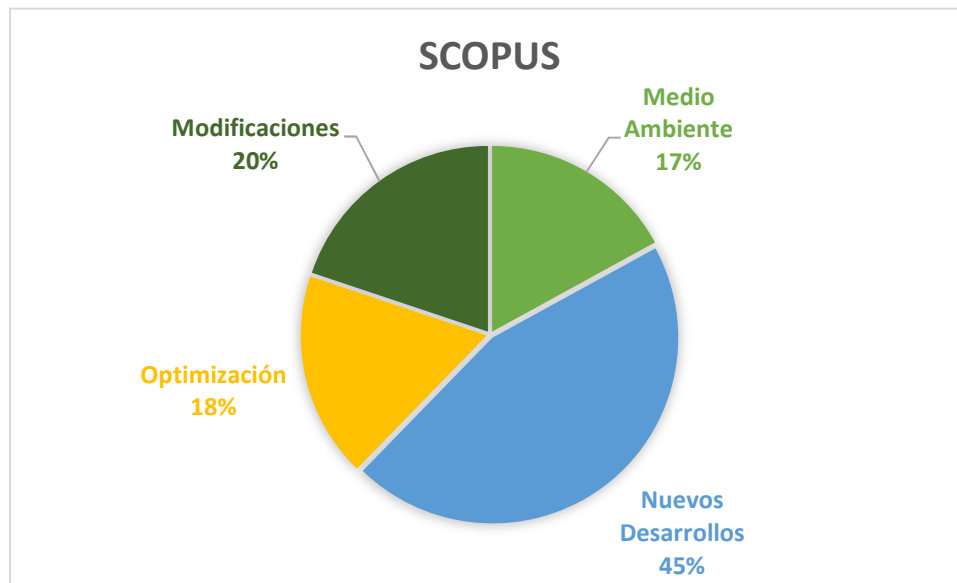


Figura 3-41: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Scopus.

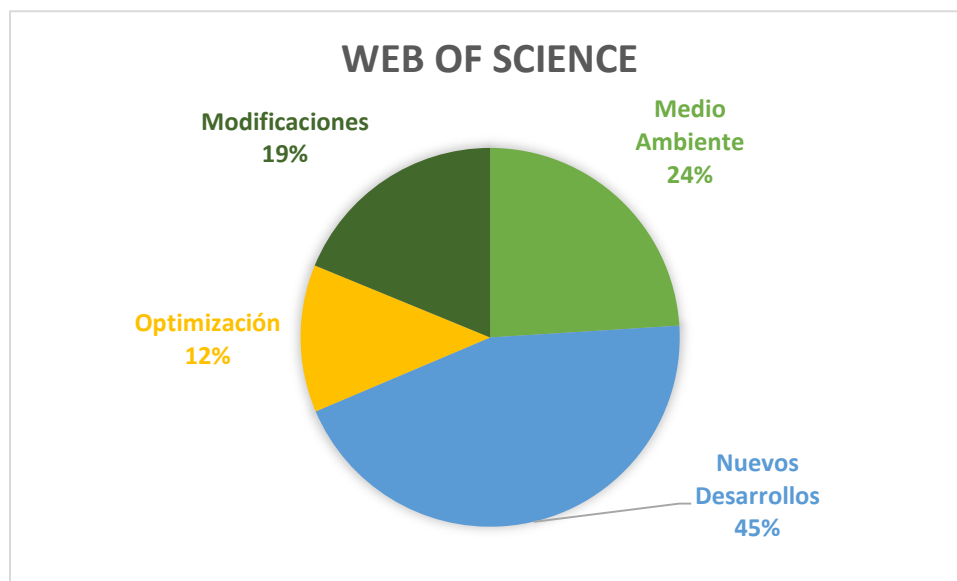
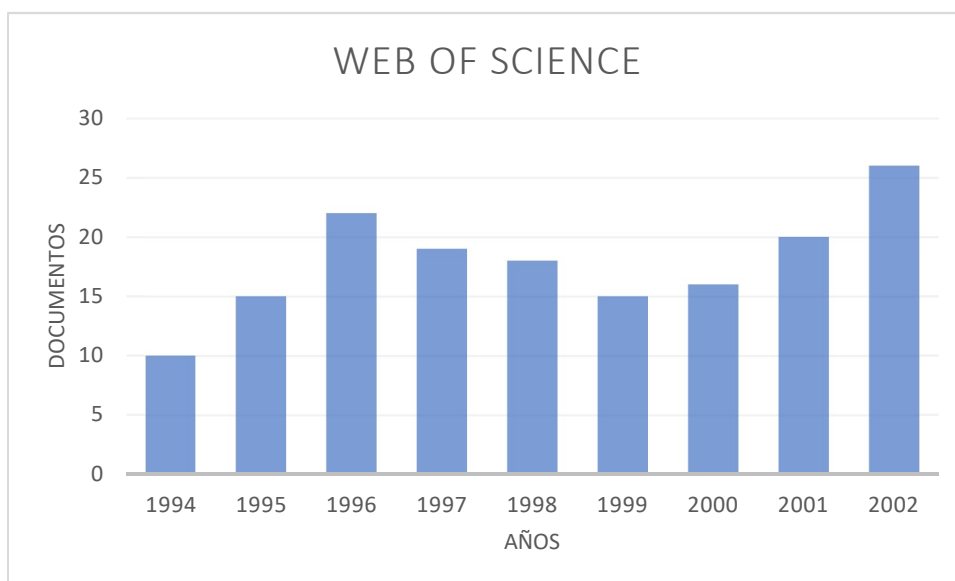


Figura 3-42: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Web of Science.

Como se ha mencionado anteriormente se han realizado dos búsquedas en ambas fuentes, por un lado, la búsqueda de “Hydroelectric Power Plant” y por otro la búsqueda de “Earthfill Dam”.



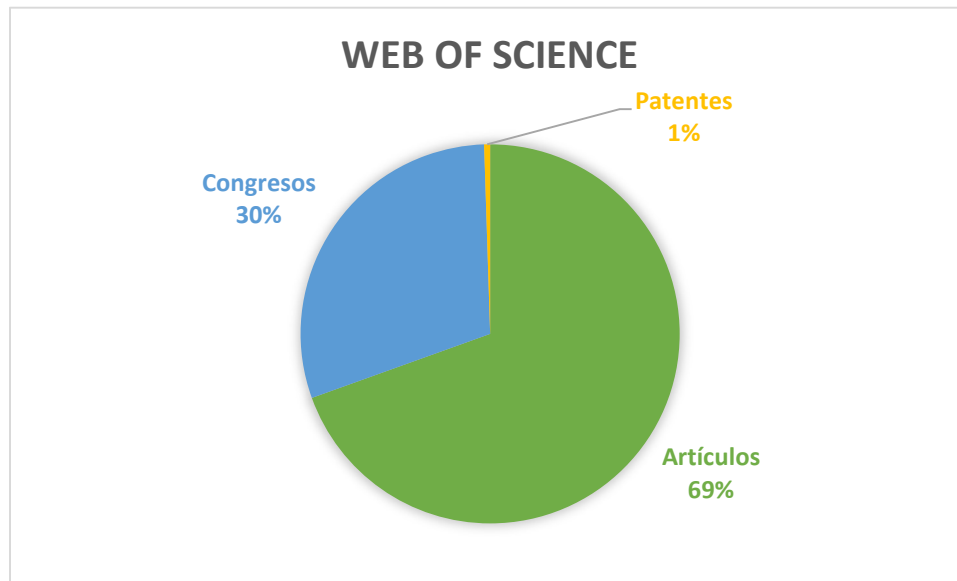
En esta última búsqueda se han obtenido los datos que se van a representar a continuación. La fuente de Web Of Science nos facilita 44 documentos para analizar. En esta búsqueda se ha añadido como criterio limitante “Ciencia y tecnología”. Se observan datos desde 2009 hasta 2017.



*Figura 3-43: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a presas de tierra localizados en la plataforma Web of Science.*

Los 44 documentos que se han obtenido se clasifican a continuación en función del tipo de documento que es, pudiendo ser artículos, congresos o conferencias y patentes. Se observa una mayoría de artículos frente a la casi inexistencia de patentes.





*Figura 3-44: Distribución de documentos indexados en Web of Science durante el periodo 2009-2017 en base a su naturaleza.*

Por último, se representa a continuación una clasificación de los 44 documentos en función de la temática, pudiendo clasificarse como Nuevos desarrollos, Modificaciones, Optimizaciones o Fenómenos naturales. Se observa una mayoría en los documentos referidos a la optimización de las presas de tierra, en cambio, apenas existen referencias a nuevos desarrollos.

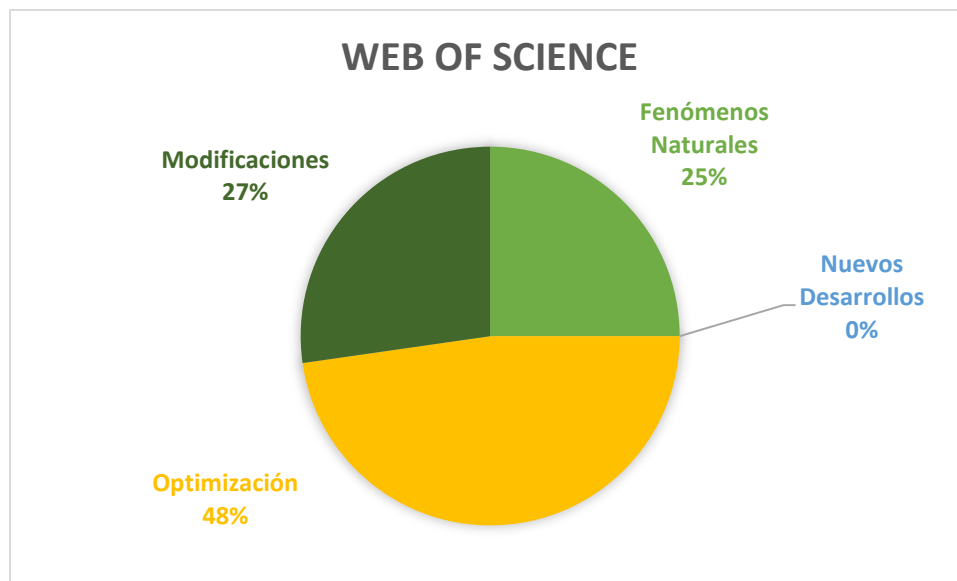


Figura 3-45: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Web of Science.

En cuanto a la plataforma Scopus, se realiza la misma búsqueda que en la plataforma Web Of Science, “Earthfill Dam”, obteniendo 200 documentos entre los años 2014 y 2018.

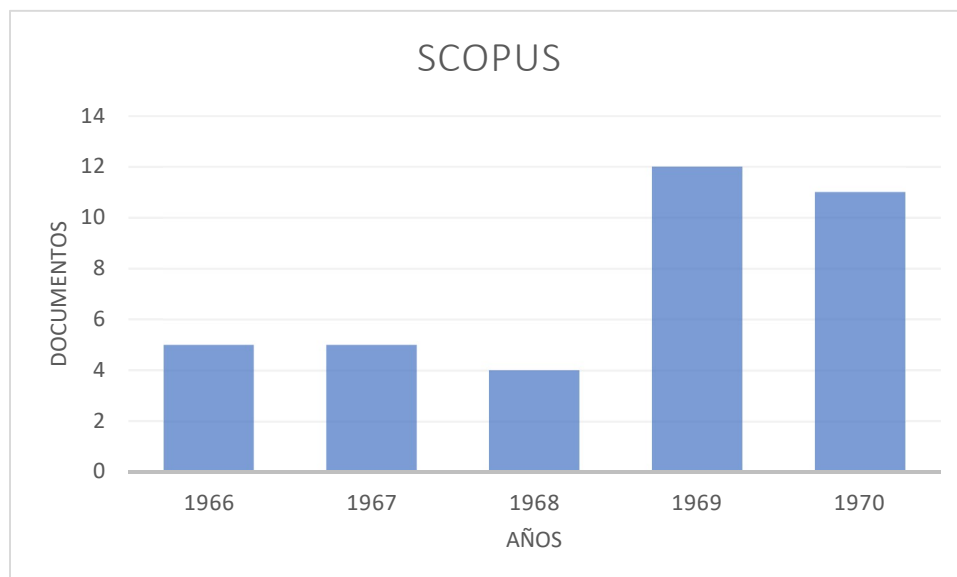


Figura 3-46: Distribución por fecha de publicación de los documentos relativos a presas de tierra localizados en la plataforma Scopus.

El gráfico que se representa a continuación muestra la distribución de los 200 documentos obtenidos en Scopus clasificados en función del tipo de documento. Como en el caso de la plataforma Web Of Science se aprecia una mayoría de los artículos en contraposición a las patentes, casi inexistentes.

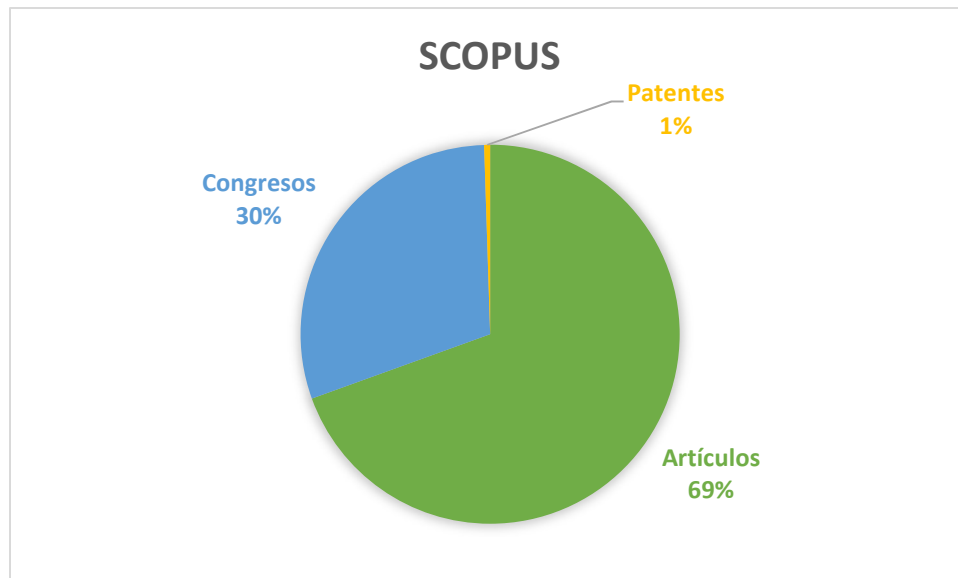


Figura 3-47: Distribución de documentos indexados en Scopus durante el periodo 2014-2018 en base a su naturaleza.

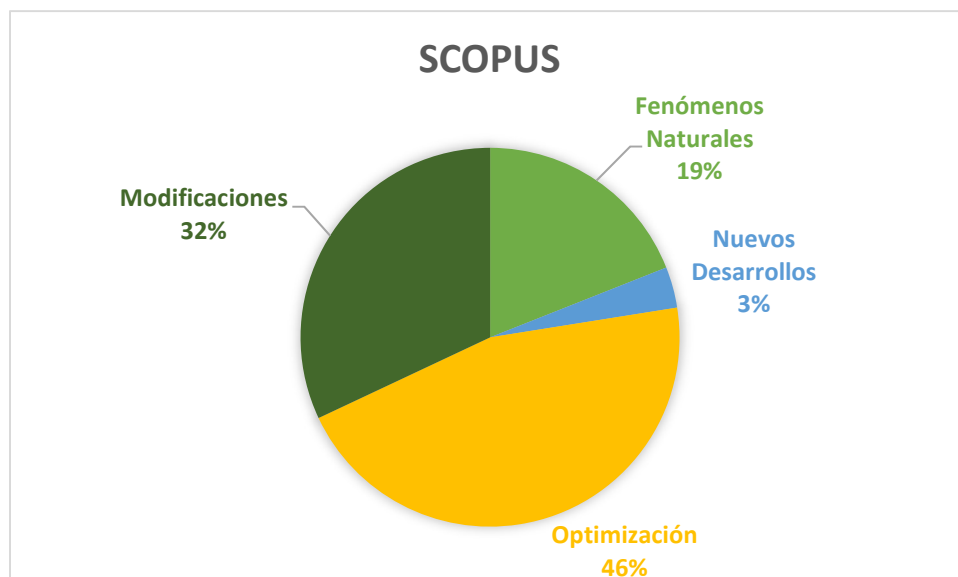
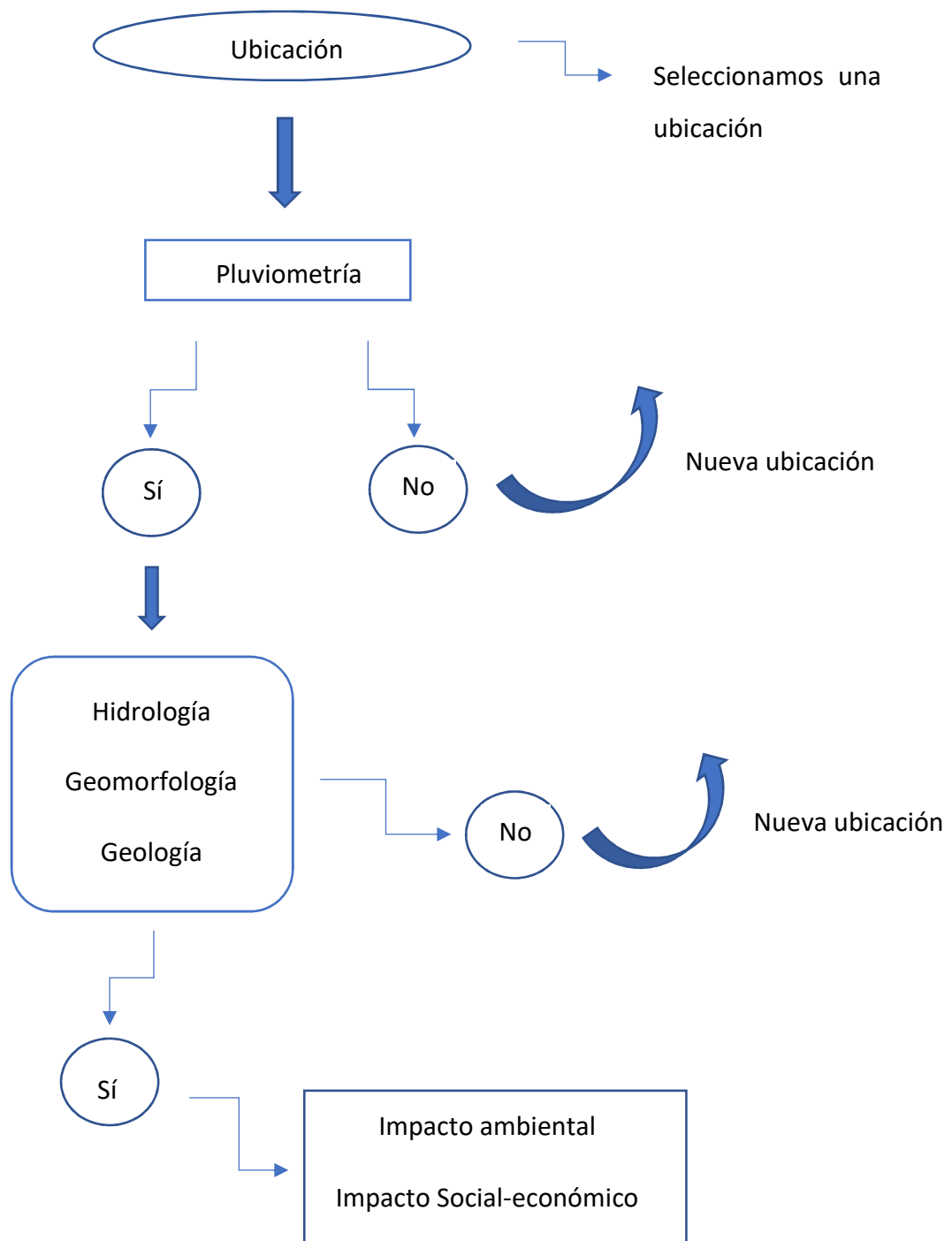


Figura 3-48: Clasificación según la temática de los documentos indexados en la plataforma Scopus.

#### 4. CASO DE ESTUDIO: EMBALSE EN LA VEGA DE PAS.

Para la elaboración de este apartado se han seguido los pasos indicados en un flujograma.





#### 4.1. SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN.

La ubicación en la que se localiza el ámbito de desarrollo del presente estudio es La Vega de Pas, localidad de la Comunidad Autónoma de Cantabria. Se encuentra en la comarca del Pas-Miera, en la cabecera del río Pas.

En el extremo suroeste de Cantabria, lindando con la provincia de Burgos, se encuentra este municipio pasiego, que formó parte de la antigua jurisdicción de los Montes de Pas y que abarca una extensión de 87,6 Km<sup>2</sup>. Está rodeado por los términos de San Roque de Riomiera, Selaya y Villacarriedo, por su franja norte; por Lueva, por el oeste, y por San Pedro del Romeral, por el suroeste.

Su evolución demográfica a lo largo del siglo XX ha estado marcada por el continuado proceso de despoblamiento, que se ha mantenido en la misma dinámica hasta la actualidad, dando lugar a un censo que apenas alcanza los 1000 habitantes, que se distribuyen en siete núcleos: Candolías, La Gurueba, Guzparras, Pandillo, Viaña, Yera y la capital Vega de Pas, que es a su vez la más poblada.

En la historia de este municipio tuvo un especial protagonismo Espinosa de los Monteros, el lugar sobre el que recayó el derecho de pastos en esta zona de verdes praderas antes de que se produjera el asentamiento estable en la comarca. Esto hizo que Vega de Pas, junto con los términos de San Pedro del Romeral y San Roque de Riomiera, se configurara como un enclave de aprovechamiento ganadero basado en el pastoreo semitrashumante.

Debido a esta circunstancia se desarrolló el particular modo de trabajo y vida pasiego, del que aún se mantienen algunas costumbres ancestrales y que ha quedado perpetuado en su definida etnografía, siendo su elemento más característico las cabañas que salpican sus praderías, necesaria para el desarrollo de la muda.

La presencia del río Pas supone un importante factor a considerar de cara al cumplimiento de uno de los objetivos principales del presente estudio: contar con un caudal suficiente de abastecimiento como para garantizar el suministro requerido para la generación energética, minimizando además las posibles afecciones a núcleos



urbanos, y contando con una orografía que, aún pudiendo verse sujeta a posibles modificaciones en pos de optimizar la capacidad del embalse diseñado, resulte favorable al planteamiento propuesto.



Figura 4-1: Ortoimagen de la zona objeto de estudio. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es)).



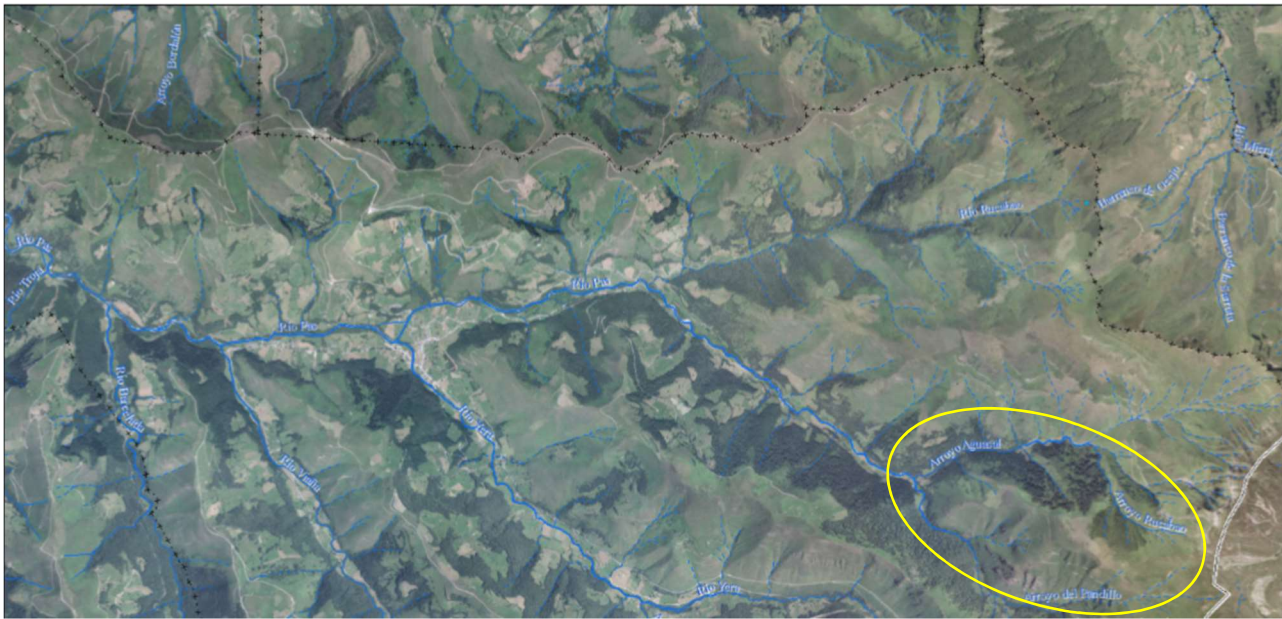


Figura 4-2: Ortoimagen de la zona de estudio, con indicación de los cauces fluviales. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es) ).

Como ya se ha mencionado anteriormente el estudio se sitúa en La vega de Pas, pero de una manera más exacta el estudio se localiza en un afluente del río Pas, denominado arroyo del Pandillo (6,443 Km de longitud).

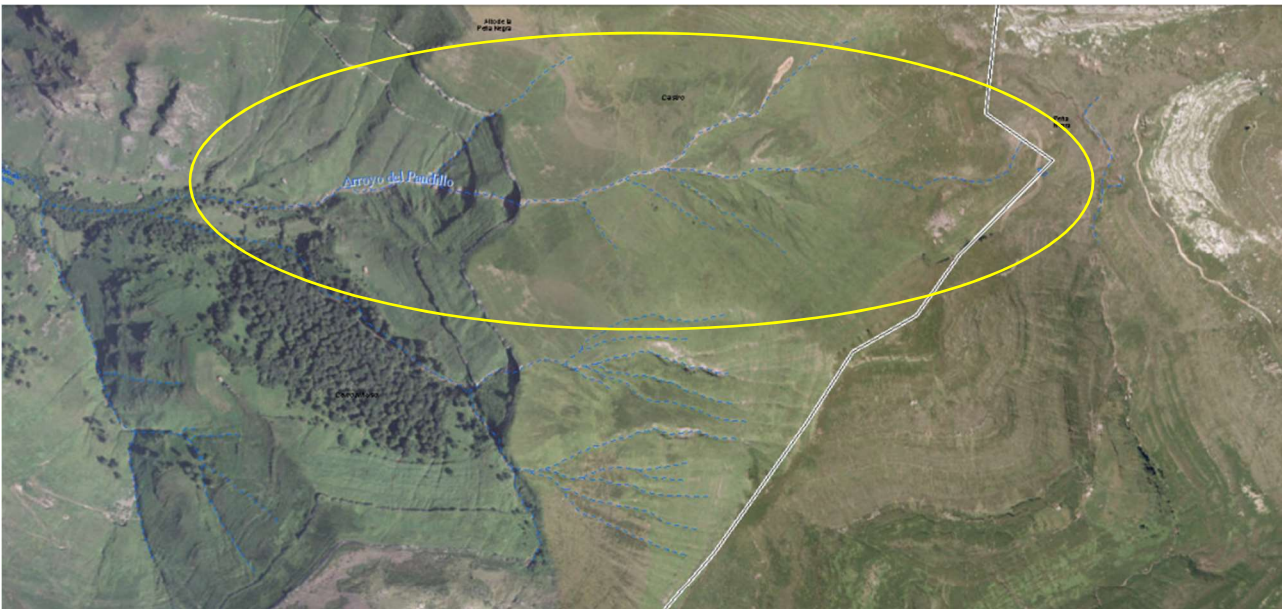


Figura 4-3: Ortoimagen de la zona de estudio. Detalle del Arroyo del Pandillo. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es) ).



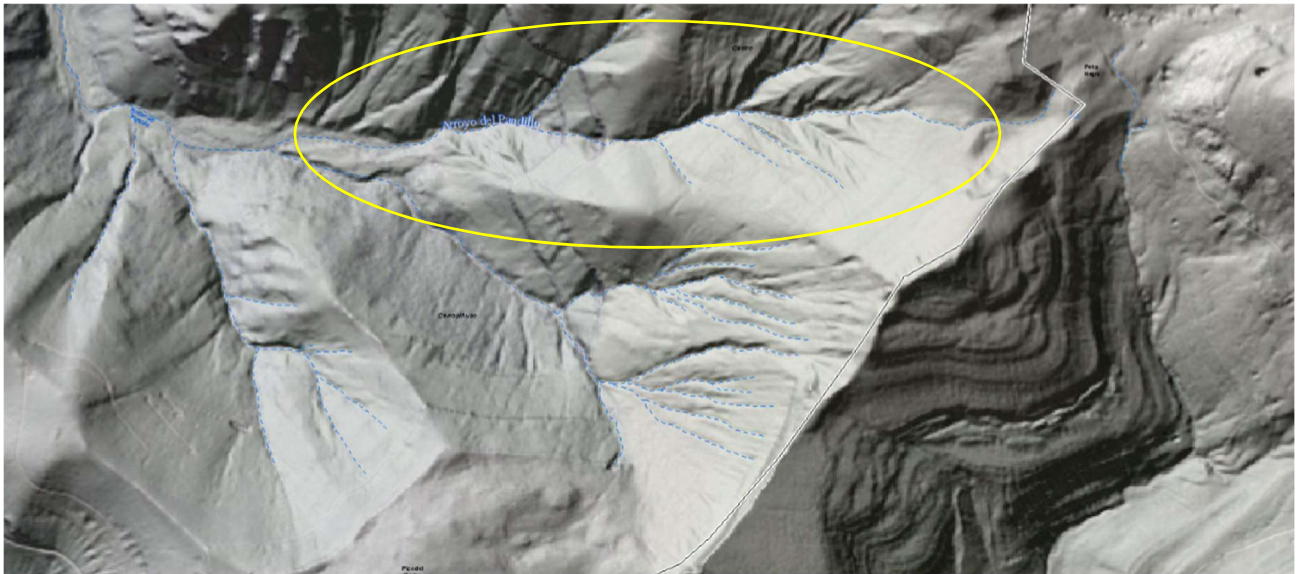


Figura 4-4: MDT de la zona de estudio. Arroyo del Pandillo. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es) ).

## 4.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO.

### 4.2.1. Situación geográfica de La Vega de Pas.

La comarca del Pas-Miera está situada a caballo entre *La Marina* y *La Montaña*, comprende los valles de los ríos Magdalena-Pas-Pisueña, Miera y la cuenca hidrográfica que vierte aguas a la Bahía de Santander. Desde un punto de vista paisajístico, constituye una de las comarcas de la región más representativas, tanto por las formas del relieve como por los usos del suelo. En su parte baja, en *La Marina*, aparece un paisaje muy antropizado, en el que dominan los usos industriales, junto con praderías y landas; en *La Montaña*, en las cuencas medio-altas de los ríos Magdalena, Pas, Pisueña y Miera, las peculiares y magníficamente cuidadas praderías, constituidas por pastizales entremezclados con retazos de arbolado caducifolio, dan lugar a un paisaje característico y muy atractivo. Este paisaje es fruto de la vinculación existente entre sus habitantes, los pasiegos, y la tierra en la que viven.

Esta comarca aporta atractivos añadidos a los puramente geológicos. Así, en Puente Viesgo se localiza uno de los mejores exponentes del arte parietal de la región, en las

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 130



Cuevas de El Castillo. También el románico ofrece monumentos importantes como la iglesia de Villasevil, y sobre todo la colegiata de Santa Cruz de Castañeda. La arquitectura civil tiene valores notables en Alceda, Ontaneda y Castillo Pedroso; y excepcionales, en la vega del Pisueña, con los palacios de Donadío en Selaya, y Soñanes en Villacarriedo. Entre Sarón y Solares se encuentra el Parque de la Naturaleza de Cabárceno, y en Pámanes, el Museo del palacio de Elsedo. Otro aspecto que, sin duda, merece interés es el etnográfico, en relación con el modo de vida y costumbres de sus habitantes, los pasiegos.

El límite meridional de esta comarca se establece con la provincia de Burgos, en la Comunidad Autónoma de Castilla-León, a través de la divisoria de aguas marcada por una serie de cimas (Coterón, 1.025 metros; Peña Negra, 1.498 metros) y en la que Castro Valnera representa la cumbre de mayor elevación (1.707 metros). La divisoria atraviesa también los puertos de montaña de El Escudo, La Magdalena, Estacas de Trueba y Lunada. El límite septentrional es el mar Cantábrico, mientras que el occidental se establece con el valle del río Besaya, a través de una divisoria que marcan las cumbres del Mediajo Frío, 1.396 metros; Los Castrucos, 1.072 metros; Cildá, 1.065 metros; Cuera, 820 metros y Dobra 606 metros. El límite oriental recorre la divisoria de aguas que desde Castro Valnera llega hasta la costa, a través de las cimas del Picón del Fraile, 1.632 metros; Colina, 1.461 metros; Porracolina, 1.408 metros y el alto de Tejuelo, 890 metros. Las pendientes que conectan estas cimas con los fondos de valle adyacentes son muy abruptas, disminuyendo su inclinación progresivamente hacia el norte, al igual que la altitud de las cumbres, lo que motiva que los fondos de los valles sean progresivamente más amplios hacia la desembocadura de los ríos, presentando una morfología típica en forma de “artesa”.

#### 4.3. HIDROGRAFÍA Y ESTUDIO HIDROLÓGICO.

Los ríos que desembocan en el Mar Cantábrico se caracterizan por ser cortos, aunque en general caudalosos. Lo primero está justificado por la proximidad de la cordillera a la costa y lo segundo, por las abundantes precipitaciones que recibe todo el sector



septentrional de la Península, al estar abierto a los vientos marinos, en particular a los del Noroeste que son los portadores de las lluvias.

La vertiente Cantábrica corresponde a una multitud de cuencas independientes de superficie afluente con carácter general pequeña, cuyas características principales vienen determinadas por la proximidad de la divisoria al mar, entre 30 y 80 Km. En recorridos tan cortos las redes fluviales no han llegado a alcanzar desarrollos importantes, estructurándose salvo contadísimas excepciones (los ríos Nalón, Navia, Eo, Pas-Miera y el río Ibaizabal en Bizkaia), en una serie de cursos fluviales que descienden desde las altas cumbres hasta el mar, a los que afluyen otros cauces menores de pequeña entidad y carácter normalmente torrencial.

El territorio está formado por valles profundos en V, con fuertes pendientes en las laderas y escasos espacios horizontales ya que la capacidad de transporte sólido de los ríos impide la formación de valles de relleno. Son una excepción los valles de los ríos Pas y Pisueña en Cantabria, o Ibaizabal en Bizkaia que forman valles horizontales de hasta un kilómetro de anchura.

#### 4.3.1. El sistema de explotación del Pas Miera.

El Sistema de Explotación del Pas Miera ocupa una superficie de 1.306,977 kilómetros cuadrados, encerrados dentro de un perímetro de 235 kilómetros, siendo el cuarto en tamaño entre los 20 sistemas de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. Limita al norte con el mar y al sur con la provincia de León. Su superficie se encuentra íntegramente en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Este terreno está compartido por 41 municipios cántabros.

#### 4.3.2. El río Pas.

El Río Pas, es un curso fluvial que desde su nacimiento en varios arroyos entre las Peñas Negras las estribaciones de Castro Valnera, hasta su desembocadura en el Mar Cantábrico, a través de la Ría de Mogro, recorre 61 Kilómetros.



Atraviesa nueve municipios, Vega de Pas, San Pedro del Romeral, Luena, divide Santiurde de Toranzo de Corvera de Toranzo, después Puente Viesgo de Castañeda, Piélagos, y por último su desembocadura sirve de frontera con Miengo.

Atraviesa a su paso pequeñas localidades como Vegas de Pas, Entrambasmestas, Bárcena, Alceda, Ontaneda, San Vicente de Toranzo, Santiurde de Toranzo, Iruz, Puente Viesgo, Vioño, Renedo, Oruña y Mogro. Sus principales afluentes son los ríos Luena o de La Magdalena (17,4 Km) y Pisueña (34,7 Km).

La cuenca hidrográfica que lo alimenta tiene 661 Km<sup>2</sup>. Su caudal medio anual es de 8,98 m<sup>3</sup>/seg., con mínimos estivales de 4,11 m<sup>3</sup>/seg. y máximos de 18,06 m<sup>3</sup>/seg.



Figura 4-5: Mapa físico de la cuenca del Pas. (Fuente: [www.dmacantabria.cantabria.es](http://www.dmacantabria.cantabria.es)).

Desde el alto de Peña Negra, a 1496 metros de altura, se van reuniendo las aguas de la ladera en pequeños arroyos de montaña, como el Pandillo o el Rucabao., hasta las casas de Pandillo, cuando ya adquiere su nombre, entre riegas que van aportando sus aguas desde las laderas, siguiendo una dirección hacia el noroeste que continúa hasta Portilla, un pequeño pueblo a cinco kilómetros de su origen, que se sitúa en la primera vega que deja el río al girar para tomar dirección oeste. Dos kilómetros después, en la unión con el Río Yera se abre otra vega, que acoge la población, algo mayor, de Vega del Pas. Siguiendo la corriente, que pasa por debajo del Puente Colgante de Ocejo, construido

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.



por la siderúrgica Nueva Montaña Quijano, llegamos a Entreambasmestas, donde se une el Río de Luena.

Nuevamente en dirección noroeste, tanto las vegas como las poblaciones que las ocupan se van haciendo más amplias. Tal es el caso de Ontaneda, donde el río rota hacia el norte, para circular, encauzado, por el entorno de Iruz. Tras esto, corta las rocas de Monte Castillo, donde los hombres prehistóricos encontraron abrigo en varias cuevas, justo antes de llegar a Puente Viesgo. Desde aquí, donde llega el Río Pisueña se abre una vega ya francamente amplia, que ocupa Villabáñez, Vargas y Socobio. Siguiendo por estas zonas amplias y muy urbanizadas se llega a Renedo, Oruña, Arce y Mogro, donde el estuario que comunica el río con el mar mediante la Ría de Mogro, dejando un conjunto dunar de Liencres y las playas de Usil, La Robayera y Valdearenas.

El Lugar de Interés Comunitario Río Pas protege todo el recorrido del curso fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura, así como el de su afluente, el Río Pisueña. Las especies presentes en este LIC son el Salmón Atlántico, el Desmán Ibérico, la Nutria, la Madrilla y el Cangrejo de Río. Su desembocadura, se corresponde con el Lugar de Interés Comunitario Dunas de Liencres y Estuario del Pas. Aquí aparece, además del Salmón y la Madrilla, varias especies de murciélagos, el Ciervo Volante, Sapillo pintojo Ibérico y el Lagarto verdinegro, así como la vegetación de dunas móviles y fijas, matorrales halófilos, que se encuentra a gusto con los ambientes salados de mar.

Además, el Parque Natural de Las Dunas de Liencres también rige sobre la desembocadura del Pas desde su declaración en 1986. En él se encuentran las propias dunas, la Playa de Valdearenas y la de Canavelle, así con un bosque de Pino Marítimo.

Las dunas son amontonamientos de arena que crea el viento, y son móviles, es decir, continúan formándose en la zona más cercana a la playa hasta que la vegetación dunar las va fijando en la parte más interior. Además, la plantación de Pino Marítimo a la que ya se ha hecho referencia fue plantada en 1949 para ayudar a su fijación.





*Figura 4-6: Río Pas a su paso por Corvera de Toranzo. (Fuente: [www.chcantabrico.es](http://www.chcantabrico.es) ).*





*Figura 4-7: Río Pas a su paso por Puente Viesgo. (Fuente: [www.chcantabrico.es](http://www.chcantabrico.es)).*



*Figura 4-8: Río Pas a su paso por Puente Viesgo. (Fuente: [www.chcantabrico.es](http://www.chcantabrico.es) ).*

#### 4.3.3. Afluente Pandillo.

El río Pandillo es un curso fluvial perteneciente a la cuenca hidrográfica del Pas. Nace en Castro Valnera, en el área de Peñas Negras, y tiene una longitud de 6,443 kilómetros, con una pendiente media de 8,3°. Todo él transcurre en terrenos de alta montaña.

El río Pandillo es uno de los primeros afluentes del río Pas, considerándose que éste nace en la confluencia entre el Pandillo y el arroyo Rucabao.



#### 4.4. GEOMORFOLOGÍA.

La cuenca hidrográfica del río Pas puede fragmentarse en ocho subcuencas hídricas, con base en las características geomorfológicas, climáticas, morfométricas e hidrológicas de las mismas.



Figura 4-9: Subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: [www.dmacantabria.es](http://www.dmacantabria.es) ).

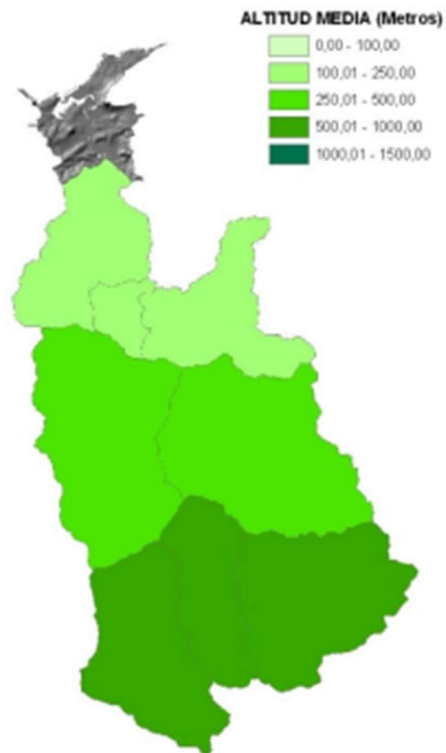


Figura 4-10: Altitud media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: [www.dmacantabria.es](http://www.dmacantabria.es)).

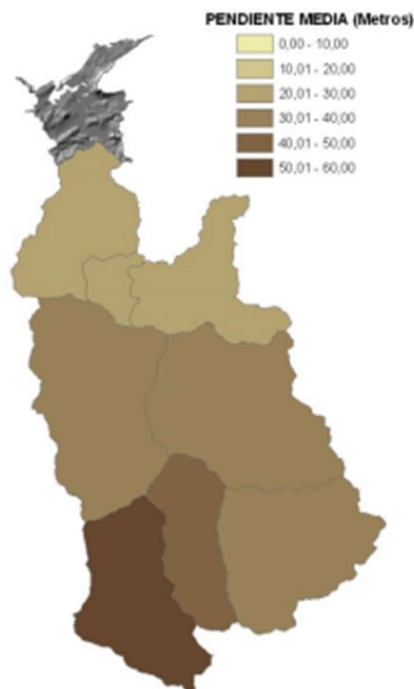


Figura 4-11: Pendiente media de las subcuencas definidas en la cuenca del río Pas. (Fuente: [www.dmacantabria.es](http://www.dmacantabria.es) ).

#### 4.5. GEOLOGÍA.

Se pueden diferenciar claramente cuatro unidades básicas de paisaje: la montaña; los valles intramontanos; el espacio costero con las sierras prelitorales y los espacios urbanos.

El carácter montañoso del territorio, combinado con la influencia atlántica, conforma una montaña de tipo alpino. El relieve montañoso está orlado por la presencia de sucesivas cadenas montañosas cuya divisoria de aguas marca el límite meridional, situadas a escasa distancia del litoral: en una buena parte del territorio solo 40 km separan las playas de los principales puertos de montaña. La Cordillera Cantábrica, al oeste, es la cadena montañosa más importante por longitud, extensión y altitud, y



también la más accidentada, ya que los montes vascos, que unen las estribaciones orientales del Pirineo con la cordillera Cantábrica, presentan un relieve más suavizado.

En Asturias preponderan los materiales del carbonífero, que dan lugar a los yacimientos de hulla a partir de los que se fraguó la industrialización, y la caliza de montaña que origina la singularidad de los Picos de Europa en cuyas crestas radican las mayores altitudes de la cordillera con cimas que rebasan los 2.500 m de altura.

En Cantabria los materiales son más recientes, están plegados y sus altitudes son modestas.

En el País Vasco las montañas del interior marcan la línea de separación entre las provincias de Gipuzkoa y Bizkaia con Araba/Álava. Se trata de crestas calcáreas de alturas comprendidas entre los 1.000 y los 1.600 m de altitud, que forman una barrera natural respecto de las zonas más llanas situadas en la cuenca del Ebro.

Desde la costa, los cauces de los ríos principales individualizan, junto a sus respectivos afluentes, valles abiertos hacia el mar, sierras, y cordales. En el oeste de la cuenca el sentido meridiano se impone hacia la costa sobre la que se desarrolla una estrecha franja, la rasa costera, que llega hasta el mar formando acantilados, rotos por las rías, abiertas en las desembocaduras de los cursos fluviales principales y en algunos cursos secundarios. Estos valles son unos de los pocos espacios llanos que hay en este territorio, por lo que se aprovechan para cultivos de regadío en las distintas vegas de los ríos. Estos valles también acogen una densidad de población bastante elevada, tanto en los espacios rurales como urbanos.

Más hacia el este, los cauces principales (Oria, Nervión y Cadagua, entre otros) forman un paisaje de valles sinuosos por los que suelen discurrir ríos caudalosos encajados en montañas de pendiente pronunciada, pero de moderada altura, ya que son pocas las que superan los 1.000 m de altitud.

El relieve se organiza en una serie de unidades que, partiendo del litoral, están representadas, en primer lugar, por las rasas costeras abiertas al mar en acantilados y



disecionadas por la incisión fluvial, formándose algunas playas y rías. Detrás de las rasas se sitúan las sierras prelitorales, paralelas a la costa. Este territorio se encuentra ampliamente poblado, y las actividades principales que se desarrollan en él son las turísticas, aunque todavía conviven con las actividades agropecuarias tradicionales.

Al lado de las grandes concentraciones urbanas como es el caso Gijón, Oviedo, Santander, Bilbao y San Sebastián se despliega en nebulosa el hábitat disperso de las tierras llanas del litoral y de los valles de los principales ríos, fenómeno reforzado en estos últimos años por la implantación gradual del modelo de “ciudad difusa” propio de una economía postindustrial y terciarizada. Hasta el interior impera la concentración de pequeños pueblos y aldeas que, con frecuencia, se quedan por debajo de los 50 habitantes.

#### 4.5.1. Geología en La Vega de Pas.

La geología de esta comarca está caracterizada por el predominio de rocas sedimentarias correspondientes al Mesozoico y Cenozoico, así como un pequeño enclave Paleozoico, que se disponen con una estructura geológica no muy complicada.

En general, se pueden distinguir dos grandes dominios que coinciden respectivamente con *La Marina* y *La Montaña*. A su vez, este último se puede dividir en dos: la cuenca alta del Magdalena-Pas-Pisueña y el valle alto del Miera.

La característica más sobresaliente de la geología de *La Marina* es la presencia de rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas dispuestas en pliegues y pequeños cabalgamientos de bajo ángulo que tienen una disposición en arco, con direcciones noroeste-suroeste, aprovechando los cabalgamientos citados las arcillas del Keuper como niveles de despegue. Por otra parte, abundan los diapiros salinos que rompen las estructuras antes citadas, poniendo en contacto mecánico a materiales del Cenozoico y Cretácico Medio-Superior con las arcillas, yesos y halitas del Keuper.





La geología de superficie está caracterizada por la actuación de procesos fluviales y costeros. Las laderas ofrecen pendientes suaves con fondos de valle muy amplios; de forma esporádica aparecen procesos de deslizamientos. La línea de costa presenta un perfil semi rectilíneo en el que son dominantes las formas acantiladas frente a las formas de acumulación, y donde las caídas de bloques de acantilado condicionan la evolución del litoral. Las formas de acumulación están representadas por pequeñas ensenadas, abiertas en función de las litologías menos resistentes a la erosión, así como por extensas playas o flechas de arena que, con un crecimiento en sentido este-oeste, son conocidas en la región con el nombre de puntales y a los que frecuentemente se le asocian campos de dunas orientados en función de los vientos dominantes. Otro rasgo significativo del litoral, son las “rasas” o antiguas plataformas de abrasión marina incorporadas al relieve continental. Se escalonan a modo de graderías entre los 220 y 1,5-3 metros sobre el nivel del mar actual; presentan una superficie plana y ligeramente inclinada hacia el mar (pendiente en torno al 2%).

Entre este dominio y *La Montaña* se encuentra una unidad alóctona, con estilo estructural propio, denominada “Frente Cabalgante del Escudo de Cabuérniga”, y que corresponde a un manto de cabalgamiento con un ángulo de falla en torno a los 45-50°, que presenta vergencia hacia el sur. En la zona de Puente Viesgo, y ligados al plano de falla aparecen calizas carboníferas denominadas Calizas de Montaña (macizo del Monte Castillo) sobre las que se sitúan en discordancia las areniscas rojas triásicas (Buntsandstein). Más hacia el este, en los alrededores de Esles y Llerana, el anticlinal termina, apareciendo las areniscas rojas rodeadas de arcillas violáceas (correspondientes al Keuper), acompañadas de grandes masas de ofitas. Las ofitas de Esles-Llerana constituyen la mayor extensión de rocas ígneas de toda Cantabria. Por lo que respecta a la geología de superficie, la nota más característica es el Karst ligado a las Calizas de Montaña, que aparece en el Macizo de El Castillo, en cuyas cuevas aparece uno de los yacimientos más importantes del arte prehistórico de la región.

La geología del sustrato de *La Montaña* perteneciente a la cuenca del Magdalena-Pisueña, está dominada por rocas mesozoicas correspondientes al Triásico, Jurásico y



Cretácico; fundamentalmente sedimentarias (areniscas, calizas, margas, dolomías, argilitas y limolitas); aunque localmente, al borde norte de este subdominio, aparecen rocas ígneas básicas (ofitas). Estas rocas se sitúan dentro de una estructura con forma sinclinal (sinclinorio) de dirección noroeste-sureste, que abarca la zona central de la comunidad autónoma, y que continua por los valles del Nansa y Saja. A su vez, el sinclinorio está deformado por otra serie de pliegues anticlinales y sinclinales sobreimpuestos, que cruzan la zona de norte a sur y de este a oeste. El estilo tectónico de esta zona es propio de un nivel estructural superficial, con pliegues de gran radio de curvatura, fallas con plano vertical y mantos de cabalgamiento con planos semi-verticalizados. Los materiales más ampliamente desarrollados en este territorio son las arcillas, limolitas y areniscas de facies Weald de edad Cretácica (con aproximadamente, 120 millones de años). El resto de los materiales aparecen ligados a estructuras anticlinales con bordes fallados, en los que afloran los conglomerados, areniscas y arcillas, con algunas intercalaciones calcáreas, de las facies Purbeck y las calizas y margas del Jurásico.

La geología de superficie de este dominio está fuertemente condicionada por el desarrollo de procesos de ladera y los procesos fluviales. Los rasgos fluviales dominan en los valles de los ríos Pas y Pisueña, en donde los aluviones y terrazas tienen un desarrollo bastante considerable. Dado el carácter poco estable de muchas de las rocas de la zona (areniscas y arcillas) son muy frecuentes los procesos de ladera (flujos, deslizamientos, coluviones, etc.). Son de destacar los grandes deslizamientos del puerto de El Escudo, Alceda y Ontaneda y Santibáñez de Carriedo. En la cuenca del Magdalena, bajo la sierra del Mediajo Frío, aparecen numerosos rasgos glaciares, entre los que destacan morrenas de fondo y algunas morrenas laterales y frontales bastante erosionadas. Muchos de estos rasgos han sido destruidos por la actuación de grandes deslizamientos. Ligados a los afloramientos de rocas carbonatadas jurásicas aparecen formas debidas a la disolución superficial de estos carbonatos. Se trata de campos de dolinas y lapiazes, a menudo, semicubiertos por suelos. El tipo de roca y su forma de aparición impide el desarrollo de grandes cavidades en su interior.



El subdominio del valle del Miera está caracterizado por el afloramiento de distintos tipos de rocas sedimentarias (areniscas y calizas) dispuestas según una dirección aproximadamente Norte-Sur e inclinadas hacia el Este. En la parte occidental, en el límite con el subdominio del Magdalena-Pas-Pisueña, aparece la base de esa sucesión, constituida por las areniscas y arcillas de la facies Weald.

El resto del valle está ocupado por el Complejo Urgoniano y Supraurgoniano, formado sobre todo por calizas en su parte inferior y por areniscas en la parte superior. Esta disposición de las capas, inclinadas hacia el Este, confiere al valle una forma asimétrica, con la vertiente occidental mucho más tendida que la oriental. Un hecho importante de la estructura geológica de este subdominio es la aparición de una importante red de fracturación de dirección este-oeste, que tienen su mejor expresión en la zona situada entre San Roque de Riomiera y Liérganes. El límite norte, se sitúa en los alrededores de Pámanes, ligado a una estructura de tipo diapírico, formada por arcillas con yesos, sales y ofitas del Triásico.

Desde un punto de vista morfológico, en el valle del Miera están ampliamente representados los modelados Kárstico y glaciar. Debido a la extensión de los afloramientos de calizas del Complejo Urgoniano y Supraurgoniano, las formas Kársticas abundan en todo el valle. Son de destacar los campos de dolinas del macizo de Mortesante y Las Enguizas y los del macizo de Picones. En la zona alta existen formas glaciares diversas muy bien conservadas, entre las que destacan las morrenas laterales. La cabecera propiamente dicha presenta varios circos y restos de morrenas centrales y de fondo muy bien conservadas. Los procesos de ladera alcanzan cierta importancia, destacando los numerosos deslizamientos que se producen sobre los materiales de origen glaciar y la formación de canchales en la zona de Linto.

Por lo que respecta al paisaje, en los macizos Kársticos, por ejemplo, en los de Monte Castillo, o Miera, se desarrolla óptimamente el encinar cántabro (encina, laurel, madroño y especies de cortejo mediterráneo). En el resto de las litologías dominan las cuidadísimas praderías pasiegas perfectamente delimitadas con muros de piedra, constituidos por losas generalmente planas de roca arenisca. Al lado de las casas y

cabañas pasiegas, aparecen fresnos. Por encima de las praderías, en las pendientes más abruptas y en la cima de las laderas, se mantienen restos de arbolado autóctono, en el que domina el hayedo, así como en las pequeñas vaguadas próximas al río, donde también abundan los avellanos<sup>1</sup>.

A continuación, aparece un mapa geológico de la zona de estudio, a partir del cual se puede conocer con mayor exactitud la geología sobre la que se encontrará la presa.

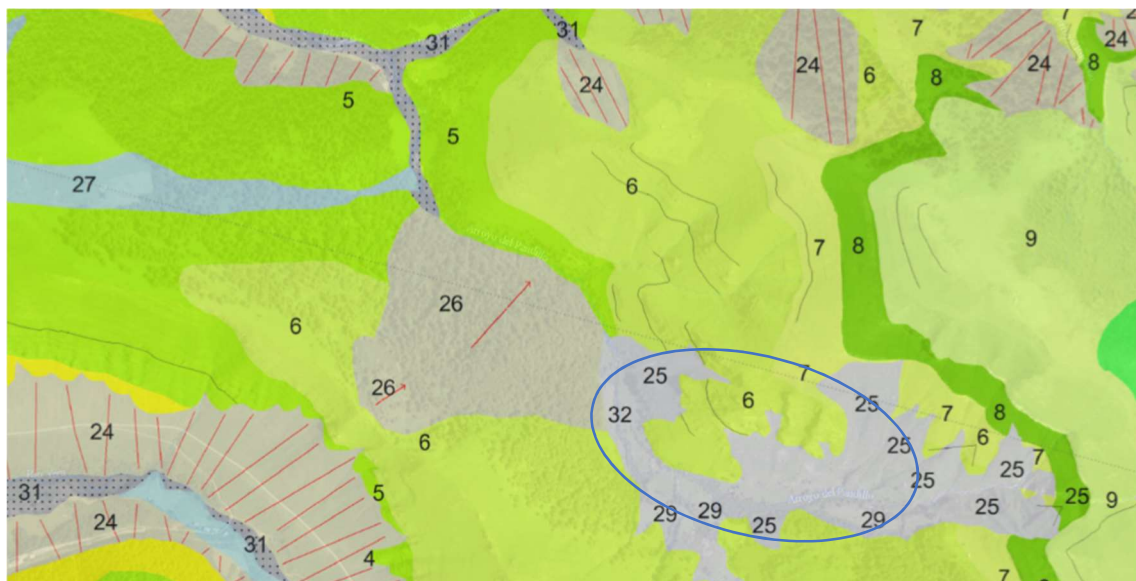


Figura 4-12: Mapa geológico de la zona de estudio. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es)).

Para el análisis y la comprensión de todos los aspectos del anterior mapa geológico se adjunta la leyenda correspondiente.

<sup>1</sup> La información utilizada para la realización de los apartados 4.5. y 4.5.1. se ha tomado de NUCHE, 2002. ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA.

### LEYENDA

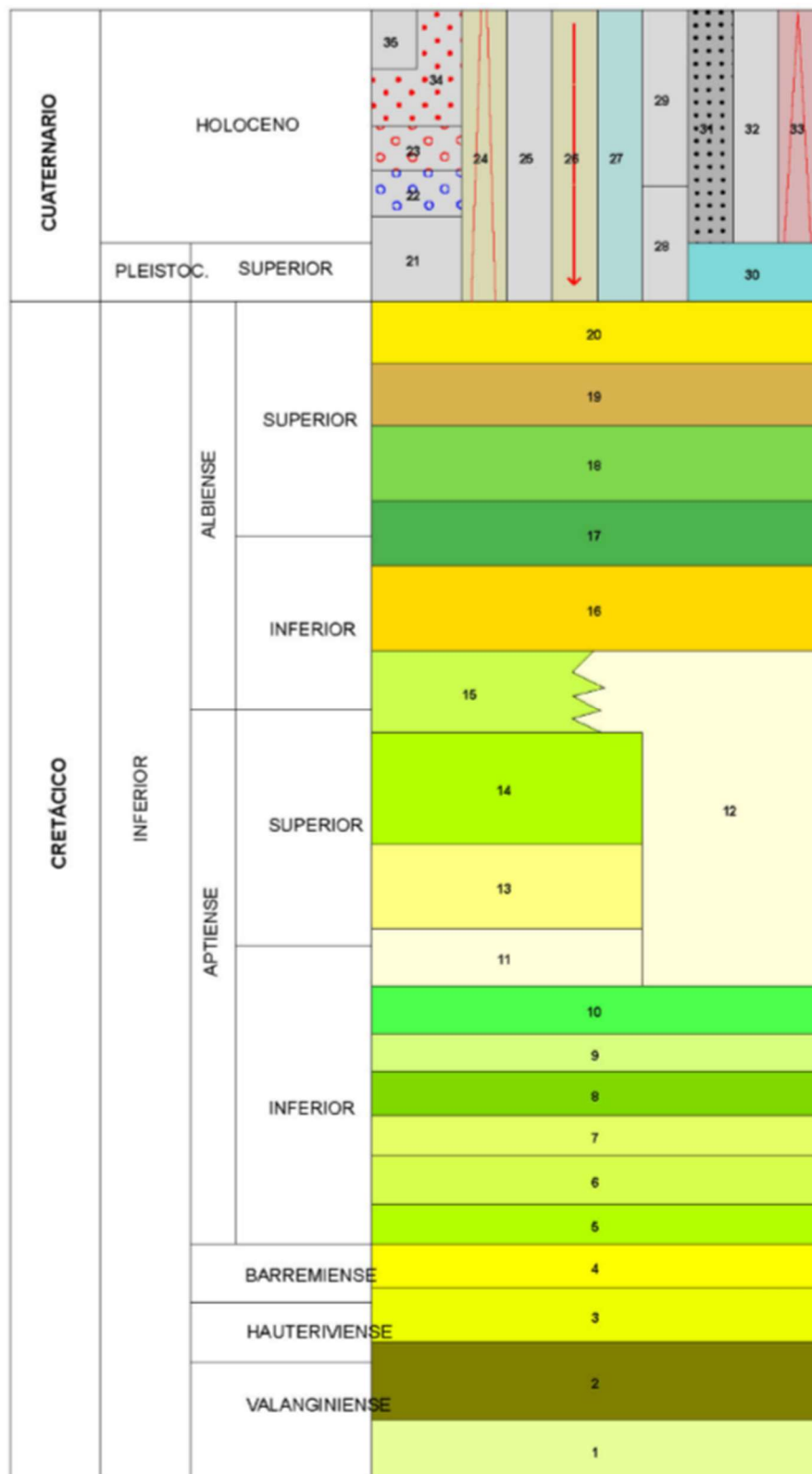


Figura 4-13: Columna estratigráfica. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es) ).



- 35 Cantos redondeados. Barra fluvial
- 34 Arcillas, arenas y gravas. Llanura de inundación
- 33 Arenas, gravas y arcilla. Abanico Aluvial
- 32 Bloques, bolos, gravas y arenas. Fondo de valle
- 31 Arenas, arcillas, limos y gravas. Aluvial-coluvial, depósitos de arroyada
- 30 Bloques, bolos, gravas, arenas y arcillas. Morrena
- 29 Arenas, gravas y limos. Cono de deyección
- 28 Arenas, gravas y limos. Cono de deyección
- 27 Arcillas, limos, arenas y gravas. Flujo, movimiento complejo y soliflucción
- 26 Bloques, arenas, limos y gravas. Deslizamiento
- 25 Arenas y gravas. Derrubio
- 24 Arcillas, limos, arenas y gravas. Coluvión
- 23 Gravas, arenas, arcillas y limos. Terraza fluvial baja
- 22 Gravas, arenas, arcillas y limos. Terraza fluvial media
- 21 Gravas, arenas, arcillas y limos. Terraza fluvial alta
- 20 Areniscas masivas blanquecinas. Fm. Areniscas de Busneda
- 19 Calizas masivas con rudistas y corales. Fm. calizas de las Machorras
- 18 Calizas blancas con corales. Fm. Calizas de las Machorras
- 17 Calizas bioclásticas arenosas tableadas de pátina naranja. Fm. Calizas de las Machorras
- 16 Areniscas microconglomeráticas blanquecinas. Fm. Areniscas de Lunada
- 15 Calizas bioclásticas. Fm. Calizas de Cantos Blancos
- 14 Areniscas calcáreas masivas de color oscuro. Areniscas del Río Miera, Mb. medio
- 13 Areniscas calcáreas. Areniscas del Río Miera, Mb. inferior
- 12 Calizas arenosas y areniscas calcáreas. Areniscas del Río Miera, Mb. superior
- 11 Areniscas calcáreas masivas de color oscuro. Areniscas del Río Miera, Mb. medio
- 10 Margas hojosas oscuras. Fm. Margas de Trueba
- 9 Areniscas con estratificación cruzada, limolitas y lutitas. Fm. Areniscas de las Estacas
- 8 Calizas bioclásticas con corales y orbitolinas. Fm. Calizas de las Machorras
- 7 Lutitas, areniscas, margas y calizas. Fm. Eretza
- 6 Areniscas grises, ocasionalmente microconglomeráticas estratificadas en bancos métricos. Fm. Río Yera
- 5 Areniscas grises con intercalaciones de arcillas rojas. Fm. Río Yera
- 4 Lutitas y limolitas rojas, ocre y grises, a veces carbonosas con niveles de areniscas. Fm. Vega de Pas
- 3 Lutitas negras, limolitas grises y verdosas y niveles de areniscas y calizas con gasterópodos.  
Mb. Capas de Viviparus
- 2 Areniscas y conglomerados silíceos con intercalaciones de lutitas grise y rojas. Fm. Bárcena Mayor
- 1 Areniscas y lutitas grises y negras. Fm. Loma Somera

Figura 4-14: Leyenda estatigráfica. (Fuente: [www.mapas.cantabria.es](http://www.mapas.cantabria.es) ).



Como puede observarse en la cartografía geológica recogida en las figuras anteriores, el ámbito de estudio comprende fundamentalmente cinco unidades. Destacan por extensión las areniscas grises, con naturaleza ocasionalmente microconglomeráticas en paquetes de potencia métrica, constituyentes de la Formación Rio Yera (6, Aptiense Inferior). En menor medida, se presentan las intercalaciones de las lutitas, margas y calizas correspondientes a la Formación Eretza (7, Aptiense Inferior). Considerando las formaciones propias del Cuaternario, derivadas de la acción de los agentes erosivos y la propia intervención modeladora del río, aparecen superpuestas discordantemente sobre las del Aptiense, destacando los derrubios (arenas y gravas, 25), y las arenas y limos propias del cono de deyección (29), con bloques y bolos en el fondo del valle (32).

#### 4.6. METEOROLOGÍA.

El primer aspecto a considerar en el desarrollo del análisis de los aspectos técnicos a considerar en un proyecto de diseño de presa, dado los fines anteriormente señalados para la misma, está indisolublemente ligado a los aspectos climáticos. Atendiendo a sus rasgos distintivos, Cantabria, al igual que la mayor parte de la cuenca del norte de la península, presenta un clima relativamente confortable respecto a otras modalidades climáticas que pueden encontrarse en la Tierra.

##### 4.6.1. Clasificación climática de Köppen.

La clasificación climática de Köppen fue publicada en 1918 por el climatólogo, geógrafo, meteorólogo y botánico ruso Dr. Wladimir Köppen. Después, fue modificada varias veces hasta su publicación definitiva en 1936.

Esta clasificación está basada en la temperatura y precipitación media mensual y anual. Se usa la vegetación nativa para denominar los tipos de clima. Como botánico, Köppen observó y reconoció los efectos de la efectividad de la precipitación y la intensidad de la evaporación en la vegetación local: la misma cantidad de RR (acumulado de





precipitaciones) es más efectiva en un clima frío que en un clima cálido. Para representar este efecto combinó las variables de temperaturas y precipitación.

Las ventajas o puntos a favor de esta clasificación son, en resumen, las siguientes: es una clasificación muy representativa de la estructura de los climas del mundo, además, un número grande de tipos climáticos coincide razonadamente bien con la circulación atmosférica y pueden ser explicados por ella.

Por otro lado, las debilidades o puntos flojos de esta clasificación son los siguientes: es una clasificación muy rígida en las fronteras y muchas veces lleva a discrepancias entre subdivisiones climáticas, además, algunos límites son totalmente arbitrarios.

Pero el gran mérito de Köppen fue crear una nomenclatura simbólica al diseñar los tipos climáticos. Los criterios de clasificación que siguió se recogen a continuación:

En primer lugar, Köppen divide el globo terráqueo en cinco grandes zonas climáticas, que se distribuyen desde el Ecuador a los Polos; se denominan con letras mayúsculas (desde la A hasta la E) y ordenadas en latitudes crecientes.

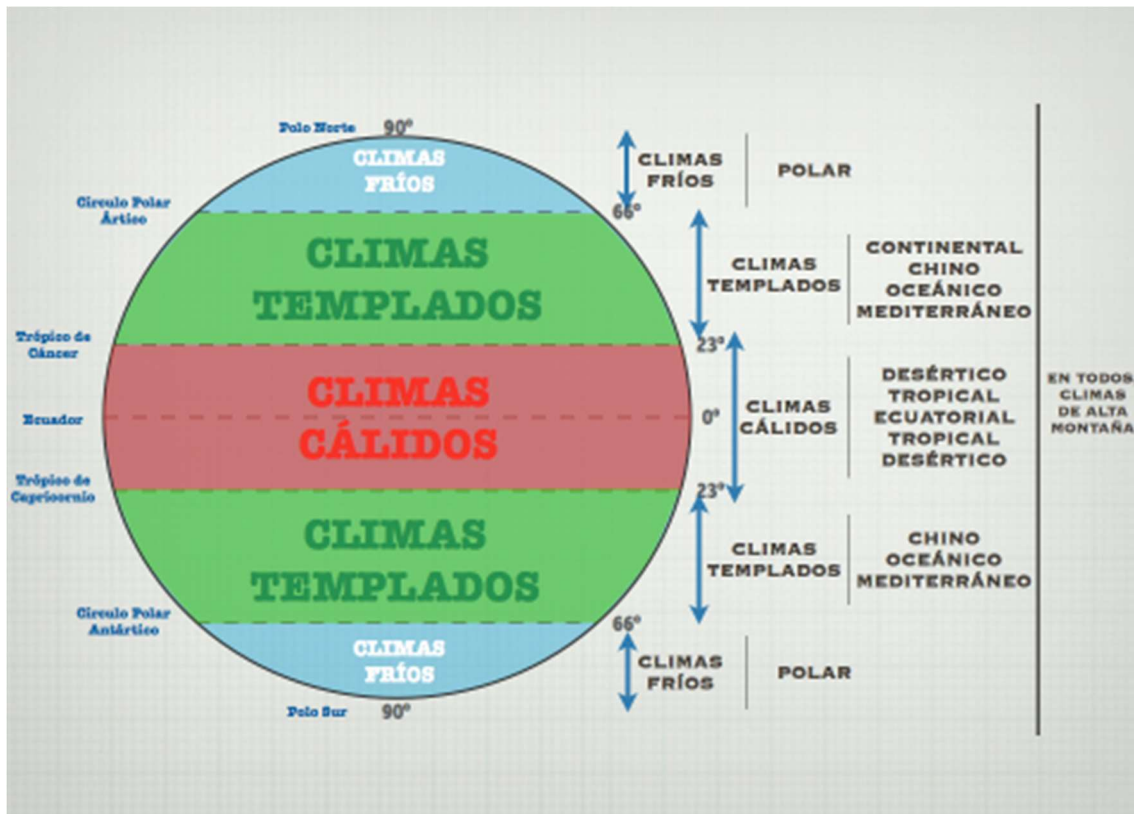


Figura 4-15: División de Köppen. Fuente: ([www.geografiaenral.blogspot.com.es](http://www.geografiaenral.blogspot.com.es)).

Las letras usadas para definir el tipo de clima son seleccionadas según las características de la temperatura del aire, la acumulación de las precipitaciones y la evolución anual de ambas variables.



Tabla 4-1: Características de los climas.

CLASIFICACIÓN TIPO	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS GENERALES	SUBCLASIFICACIÓN
A	Clima tropical húmedo	Temperatura media mensual del mes más frío mayor a 18°C.	Minúsculas: f, w, m.
B	Clima seco	Toma en consideración la temperatura media anual y el acumulado medio anual de RR.	Mayúsculas: S, W. Minúsculas: h, k.
C	Clima templado	Temperatura media del mes más frío esta entre -3°C y 18°C.	Minúsculas: f, w, s, a, b, c, d.
D	Clima subártico	Temperatura media del mes más frío menos a -3°C y temperatura media del mes más cálido mayor a 10°C.	Minúsculas: w, f, s, a, b, c, d.
E	Clima de nieve o polar	La temperatura media del mes más cálido es menos a 10°C.	Mayúsculas: T y F.

Considerando el caso de España, puede observarse que los climas que aparecen en el mapa adjunto a continuación, correspondiente al último periodo de referencia (1981-2010), son los de tipo B (secos), C (templados) y D (fríos).

2. Los climas de tipo B hacen referencia a climas secos en los que las precipitaciones son inferiores a la evapotranspiración potencial. Para hacer la clasificación de Köppen se estima como 24 veces la temperatura media anual. En España pueden encontrarse 3 subtipos: s, sk y sh.



- 1.1. Clima tipo BW: El desierto. Cuando las precipitaciones son inferiores al 50% de la evapotranspiración potencial. Es posible localizarlos en Fuerteventura y Lanzarote.
- 1.2. Clima tipo Bs: La estepa. Las precipitaciones oscilan entre el 50 y el 100% de la evapotranspiración. En España aparece en amplias zonas que se centran en el sureste peninsular, el valle del Ebro, Castilla La Mancha, archipiélago canario y algunas localidades del sur de Mallorca y Pitiusas. En función de si la temperatura es superior o inferior a  $18^{\circ}\text{C}$ , pueden distinguirse entre:
  - 1.2.1. Clima tipo Bsk: Estepa cálida (temperatura media anual  $> 18^{\circ}\text{C}$ ).  
Tiende a concentrarse en el litoral sureste peninsular, apareciendo también en el litoral valenciano y de algunas islas de las Canarias.
  - 1.2.2. Clima tipo Bsh: Estepa fría (temperatura media anual  $< 18^{\circ}\text{C}$ ). se encuentra en amplias zonas del sureste peninsular, así como extensos sectores de Castilla La Mancha y valle del Ebro. En canarias, a medida que aumentas la altitud, la temperatura media anual va descendiendo, existiendo un límite en el que se pasa de clima Bsk a Bsh.
2. Los climas de tipo C son lo que más superficie engloban, además de constituir la categoría con más subtipos que pueden encontrarse en España. Los climas de tipo C son aquellos en los que las precipitaciones son superiores a la evapotranspiración potencial, la temperatura media del mes más frío es inferior a  $18^{\circ}\text{C}$  y superior a  $0^{\circ}\text{C}$  y la temperatura media del mes más cálido es superior a  $10^{\circ}\text{C}$ .  
Dependiendo de la época en la que se den las precipitaciones, en España pueden distinguirse dos subtipos de este clima: los Cs y los Cf.



2.1. Clima tipo Cf: clima con ausencia de época seca en los meses más cálidos del año. Este tipo de clima se encuentra restringido al norte peninsular, extendiéndose por la cordillera Ibérica y Pirenáica. Mientras que en la zona litoral de Galicia y el mar cantábrico la presencia del clima Cf se relaciona con el paso de frentes, incluso durante los meses de verano. Pueden distinguirse tres tipos de Cf:

2.1.1. Clima tipo Cfa: los veranos son calurosos con la temperatura media del mes más cálido superior a 22°C. Este clima aparece entorno al valle del Ebro.

2.1.2. Clima tipo Cfb: Los veranos son templados con la temperatura media del más cálido inferior a 22°C y la temperatura media superior a 10°C en menos de 4 meses al año. Este clima domina prácticamente la totalidad de las zonas mencionadas en el clima Cf.

2.1.3. Clima tipo Cfc: el verano es templado con la temperatura media del mes más cálido inferior a 2°C y la temperatura media superior a 10°C en menos de 4 meses al año.

2.2. Clima tipo Cs: clima con existencia de una época seca en los meses más cálidos del año. Este tipo de clima es asimilable al clima mediterráneo y es el más ampliamente extendido en España. Pueden distinguirse tres tipos de Cs en función de las temperaturas de los meses más cálidos y más fríos.

2.2.1. Clima tipo Csa: es un clima donde el verano es caluroso con la temperatura media del mes más cálido superior a 22°C. Este clima domina en el centro-sur de la Península Ibérica y Baleares. Puede aparecer también en algunas zonas centrales de la cuenca del Duero y el litoral catalán.

2.2.2. Clima tipo Csb: veranos templado con la temperatura media del mes más cálido inferior a 22°C y la temperatura media superior a 10°C en más de 4 meses al año. En la zona del centro-sur peninsular y de baleares, este clima está ligado a las zonas montañosas, que son los enclaves donde las temperaturas lebaniegas se mantienen más frescas. En el norte peninsular domina en amplias zonas.

2.2.3. Clima tipo Csc: los veranos son templados con la temperatura media del mes más cálido inferior a 22°C y la temperatura media superior a 10°C en menos de 4 meses al año.

3. Los climas de tipo D (climas fríos), son climas minoritarios en España, y aparecen vinculados a las zonas más montañosas, ya que la temperatura media del es más frío tiene que ser inferior a 0°C, manteniéndose la del más cálido por encima de los 10°C.

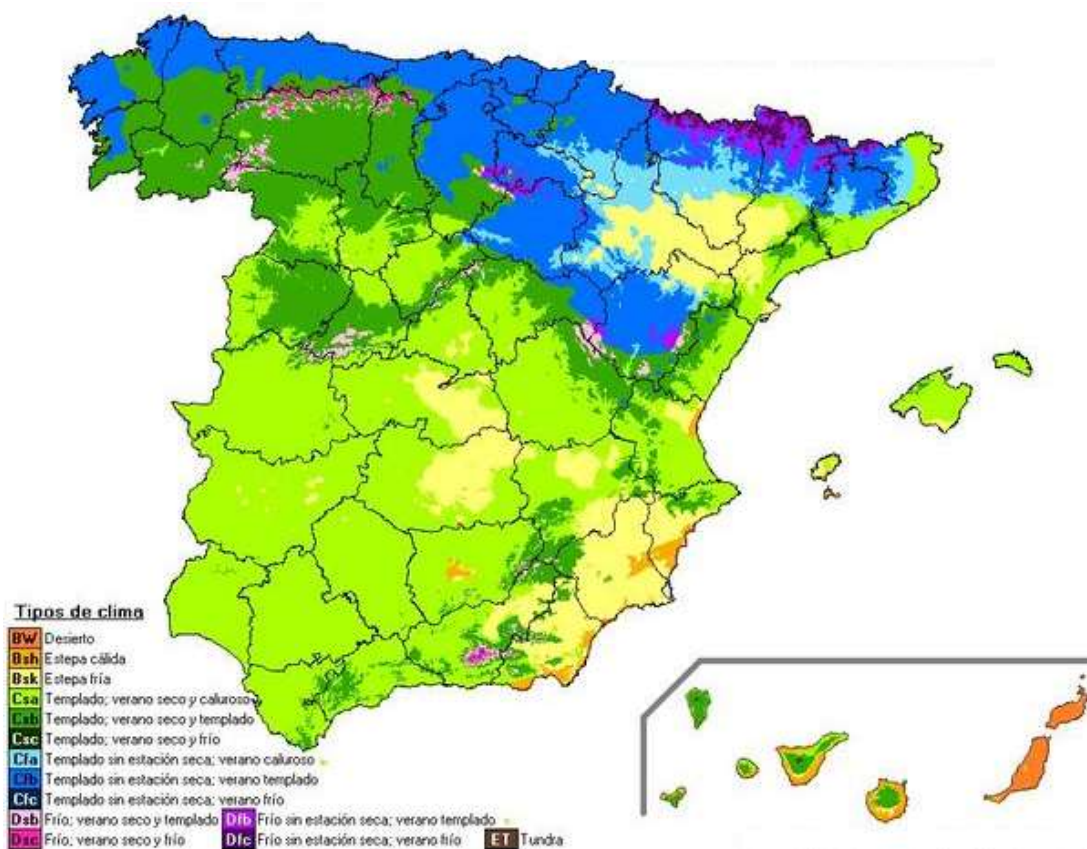


Figura 4-16: Clasificación climática de Köppen (1981-2010). Fuente: ([www.meteoillesbalears.com](http://www.meteoillesbalears.com)).



#### 4.6.2. Clima en Cantabria.

Debido principalmente a su posición geográfica y a su orografía, el clima de Cantabria es extremadamente complejo. Dada la notable compartición y particularidades locales, cualquier generalización que quiera hacerse extensiva a la totalidad del ámbito regional de Cantabria resultará grosera. A grandes rasgos, Cantabria tiene un clima muy similar al de Europa occidental, que se corresponde con el denominado clima oceánico o atlántico. En cuanto a la clasificación climática de Köppen, Cantabria se encuentra en la categoría de clima C, es decir, es un clima templado, y dentro de la clase C, se clasifica como Cf. Al margen de los posibles errores inherentes a la definición general, anteriormente señalados, una descripción estacional del clima de la comunidad autónoma de Cantabria se caracterizará por los siguientes aspectos:

✓ El invierno.

El invierno en Cantabria suele alternar dos tipos de comportamientos fácilmente diferenciables. En el primero de ellos, de carácter inestable, predominan los frentes fríos procedentes del norte y el viento sur que suele preceder a los frentes fríos. El segundo, caracterizado por su estabilidad, presenta un notable predominio de borrascas con vientos del Nordeste. Cuando un anticiclón persiste sobre la península, bloquea la llegada de frentes de lluvia.

Junto a la costa, las temperaturas medias invernales rondan los 10°C mientras que en Potes se sitúan en el entorno a los 8°C, y en Reinosa la temperatura media invernal es de 4°C. En las comarcas litorales difícilmente se baja de los 0°C, pero en los valles del interior las temperaturas mínimas descienden hasta los -6°C, y en las comarcas meridionales el termómetro puede descender hasta el umbral de los -10°C.





✓ La primavera.

La primavera en Cantabria es un periodo de cambio, caracterizado por unos marcados contrastes. El máximo pluviométrico de primavera ocurre a finales de marzo o principios de abril, y es causado por un repunte en el paso de sistemas de bajas presiones que en esta ocasión circulan por latitudes más altas, por lo que los días de Sur son más raros en esta época. Este máximo pluviométrico afecta principalmente a la vertiente norte de la mitad oriental de Cantabria, con precipitaciones en forma de lluvia y nieve. En primavera el clima se ve suavizado tanto en términos de temperatura como en viento y precipitación, dando lugar a una mayor duración de tiempo estable con vientos del Nordeste, con alternancia de episodios de tiempo casi invernal, que suelen aparecer de la misma forma súbita con la que desaparecen, especialmente en abril. A medida que avanza la primavera son más frecuentes las tormentas, sobre todo en el interior. También al final de primavera son típicas las lloviznas en el litoral oriental.

✓ El verano.

El verano en Cantabria es época de brisas y de tormentas vespertinas que en algunos días de fuerte calor pasan desde el interior al litoral, aliviando y refrescando el ambiente. El clima es muy suave tanto en temperatura como en viento y precipitación, viéndose caracterizado por una mayor duración del tiempo estable con vientos del Nordeste, alternando con episodios de tiempo fresco y húmedo generalmente de corta duración, especialmente en junio. El periodo intermedio entre final de primavera y comienzo del verano presenta dominio de los vientos del Oeste, que a menudo producen lloviznas por estancamiento de la nubosidad. Es la época menos lluviosa del año, viniendo los meses de julio y agosto marcados por los vientos del Nordeste, que suelen traer tiempo seco y apacible. Aunque también es la época de las tormentas de calor que se forman a primeras horas de la tarde en la Meseta Norte, y que son



desplazadas hacia el litoral a final de la tarde, cuando la brisa deja de poner freno al calor del interior. En esta época la zona más lluviosa es la mitad oriental de la franja litoral. En la costa es raro pasar de 30°C mientras que en los valles de la zona centro y sur, se puede alcanzar los 36°C.

✓ El otoño.

El máximo pluviométrico de otoño se centra en noviembre, y es debido al continuo ocurrir de sistemas de bajas presiones procedentes de latitudes más bajas, y que circulan preferentemente de Suroeste a Noroeste; ésta es una situación muy característica y bien conocida que comienza con vientos del Sur y termina con vientos del Noroeste. Este máximo pluviométrico afecta por igual a las vertientes norte y sur de toda la cordillera cantábrica, con precipitaciones en forma de lluvia y nieve. En esta época el clima se mantiene suave al principio tanto en temperatura como en viento y precipitación, con la alternancia de episodios de fríos, húmedos y ventosos, generalmente de una semana de duración, especialmente al final del otoño. En esta época la zona más lluviosa es la mitad oriental. El otoño es época de frentes y de borrascas que poco antes de llegar provocan una sensación de bonanza térmica pasando bruscamente a un tiempo desapaciblemente frío, húmedo y ventoso. En octubre se producen las primeras heladas en los valles del interior y aparece la nieve en las cumbres de las montañas más altas.

#### 4.6.3. Pluviometría.

Para poder hacer un estudio más completo de la climatología de la zona, es posible analizar los registros climatológicos de épocas pasadas para su posterior comparación con la climatología actual. En la página web de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) se encuentra toda esta información.



Las estaciones meteorológicas más próximas a la zona de estudio son las siguientes:

Tabla 4-2: Estaciones más próximas a La Vega de Pas. (Fuente: [www.aemet.es](http://www.aemet.es) ).

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (m)
San Felices de Buelna	43° 16' 19" N	4° 2' 55" O	105
Sierrapando	43° 21' 31" N	4° 1' 39" O	110
Villacarriedo	43° 14' 44" N	3° 50' 58" O	190
Santillana del Mar	43° 22' 38" N	4° 7' 28" O	150
Santander (Aeropuerto)	43° 25' 43" N	3° 49' 53" O	3

Los valores medios de precipitación que se han obtenido en la estación meteorológica del aeropuerto de Santander (seleccionada por su mayor proximidad al área de interés) en 29 años (entre 1981 y 2010), se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 4-3: Valores medios de precipitación en la estación del aeropuerto de Santander entre 1981 Y 2010. Fuente: ([www.aemet.es](http://www.aemet.es) ).

MES	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
ENERO	9.7	13.6	5.8	106	72	12.3	0.4	0.8	0.8	2.1	2.9	85
FEBRE- RO	9.8	13.8	5.7	92	72	11.1	0.3	1.1	0.9	1.2	3.1	104
MARZO	11.3	15.7	7.0	88	71	9.9	0.1	0.0	1.2	0.4	2.9	135
ABRIL	12.4	16.6	8.3	102	72	11.9	0.0	1.3	0.7	0.0	2.4	149
MAYO	15.1	19.1	11.1	78	74	10.4	0.0	1.6	1.7	0.0	2.4	172
JUNIO	17.8	21.6	13.9	58	75	7.6	0.0	1.8	1.2	0.0	3.7	178



JULIO	19.8	23.6	16.0	52	75	7.3	0.0	2.0	0.5	0.0	4.5	187
AGOS- TO	20.3	24.2	16.4	73	76	7.6	0.0	1.4	0.8	0.0	3.8	180
SEPTIE MBRE	18.6	22.8	14.4	83	76	8.9	0.0	1.5	1.9	0.0	4.6	160
OCTU- BRE	16.1	20.3	11.8	120	75	11.1	0.0	1.0	2.1	0.0	2.8	129
NOVIE MBRE	12.5	16.3	8.7	157	75	13.3	0.0	1.3	0.9	0.4	3.2	93
DICIEM BRE	10.5	14.2	6.7	118	73	12.1	0.1	0.9	0.6	2.0	3.4	74
ANUAL	14.5	18.5	10.5	1129	74	123. 6	0.9	15. 7	13. 4	6.2	38. 9	164 9

Correspondiendo las siglas recogidas en la Tabla anterior con los siguientes conceptos:

T Temperatura media mensual/anual (°C)

TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

R Precipitación mensual/anual media (mm)

H Humedad relativa media (%)

DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm

DN Número medio mensual/anual de días de nieve



DT Número medio mensual/anual de días de tormenta

DF Número medio mensual/anual de días de niebla

DH Número medio mensual/anual de días de helada

DD Número medio mensual/anual de días despejados

I Número medio mensual/anual de horas de sol

En la comunidad autónoma de Cantabria, al igual que las demás comunidades autónomas del Norte de España, uno de los aspectos de mayor relevancia del clima es el asociado a las precipitaciones. Es interesante conocer de una manera más detallada la distribución de esas precipitaciones en la comunidad autónoma de Cantabria.

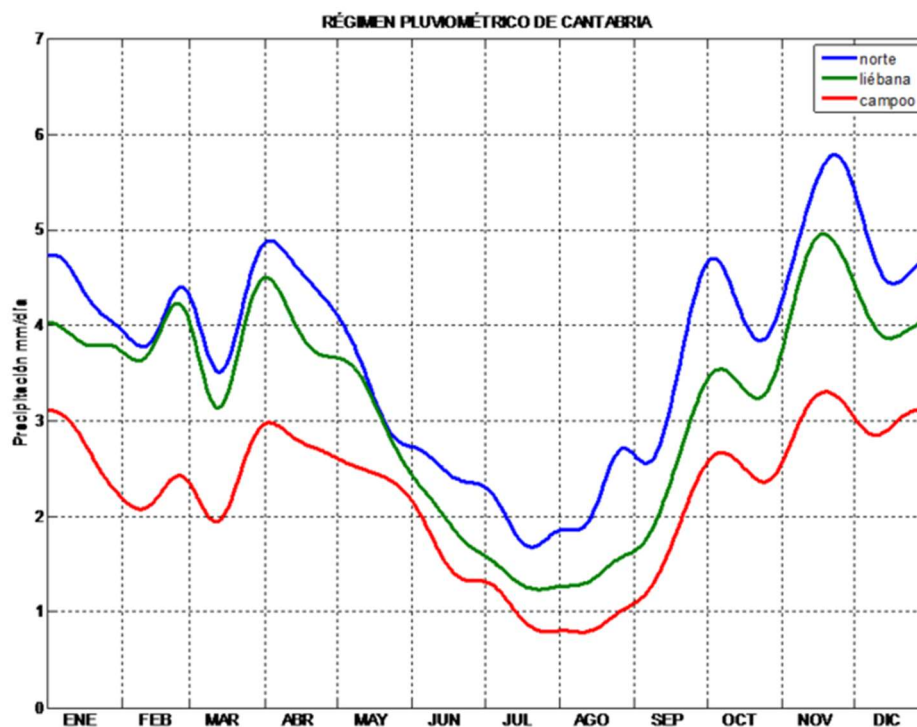


Figura 4-17: Régimen pluviométrico de Cantabria. Fuente: ([www.aemet.es](http://www.aemet.es)).



En el gráfico anterior se observa la existencia de 5 puntos máximos claros, que corresponden, por orden de magnitud, al mes de noviembre, a finales de marzo y principios de abril, al periodo de Navidad, al comprendido entre septiembre y octubre, y por último al final de febrero.

Por otro lado, se observan otros 5 puntos mínimos, que corresponden, por orden de magnitud, al periodo de verano (entre los meses de julio y agosto), a mediados del mes de marzo, principios de febrero, a finales de octubre y, por último, al periodo comprendido entre la segunda y la tercera semana de diciembre.

Otros datos pluviométricos de interés de la comunidad autónoma de Cantabria son los recogidos a continuación:

1. Las precipitaciones superan los 1.000 mm/año en el 80% de Cantabria.
2. Considerando el factor espacial, hay dos ubicaciones caracterizadas por máximos principales, una en la cabecera de los ríos Miera y Pas, donde se superan los 2.400 mm/año, y otra en los Picos de Europa, donde se superan los 2.000 mm/año.
3. Las zonas más secas se encuentran en el sur de Campoo-Los Valles y las cotas inferiores del Valle de Liébana, donde apenas alcanzan los 700 mm/año.
4. A pesar de que Cantabria es una región húmeda, en verano y en la zona litoral, en promedio sólo uno de cada quince días tiene más de dos horas de precipitación diaria.

En las siguientes gráficas se va a representar la relación entre la pluviometría de Cantabria y la temperatura en los distintos meses del año. En la primera de ellas, los datos son referentes al 2015, que es el último año del que se tienen datos en [www.meteocantabria.es](http://www.meteocantabria.es), de donde se ha obtenido dicha información.



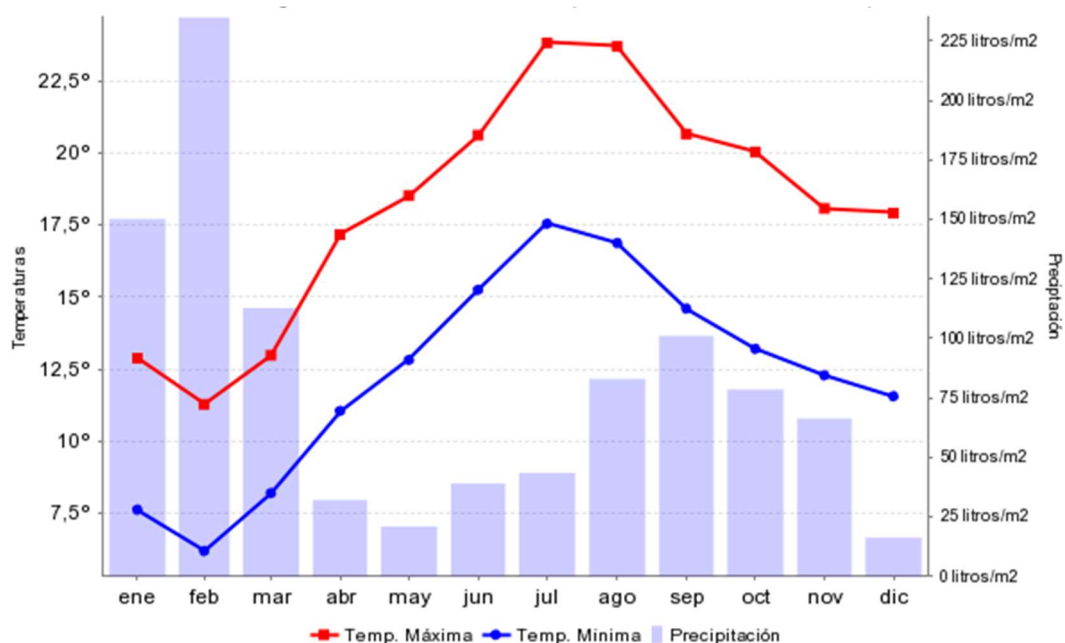


Figura 4-18: Climograma precipitación-temperatura de Santander en el año 2015. (Fuente: [www.meteocantabria.es](http://www.meteocantabria.es) ).

En la siguiente gráfica, en cambio, los datos que se representan son de un periodo comprendido entre los años 1997 y 2015.

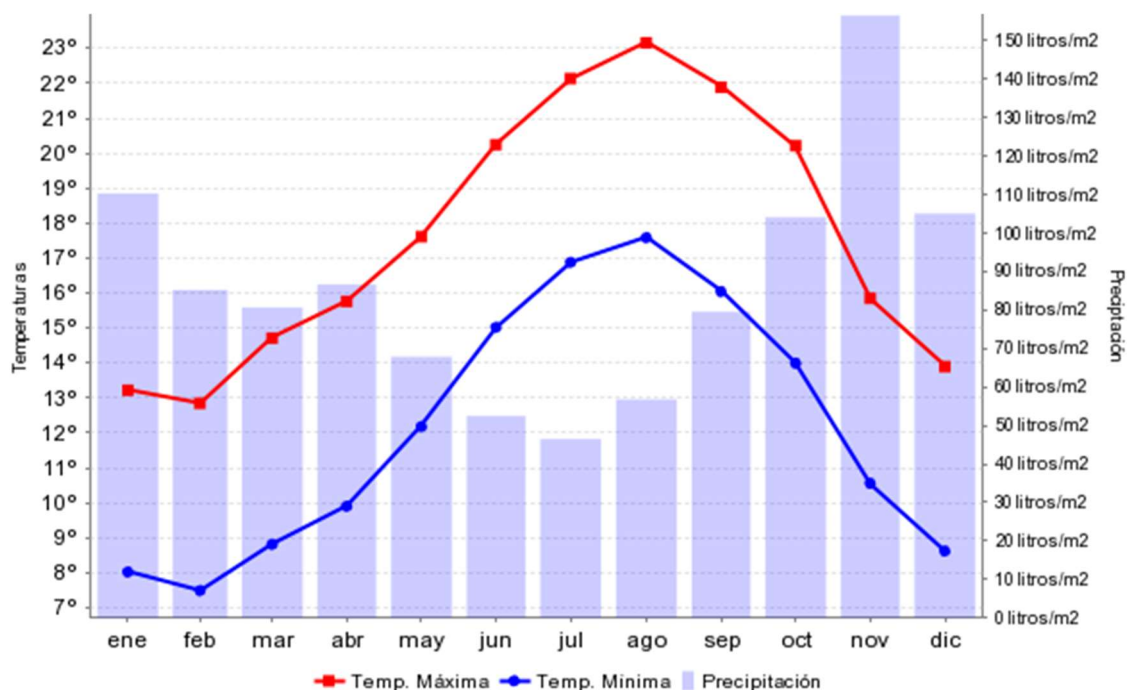


Figura 4-19: Climograma precipitación-temperatura de Santander entre los años 1997 y 2015. (Fuente: [www.meteocantabria.es](http://www.meteocantabria.es) ).



Como se mencionó en la introducción de este estudio, el cambio climático está provocando un descenso en las precipitaciones, lo que hacía más favorable la construcción de una presa. En las gráficas anteriores se puede ver reflejado ese razonamiento, si se compara la precipitación media entre 1997 y 2015, por ejemplo, con la precipitación del año 2015 únicamente.

#### 4.6.4. Vientos.

La comunidad autónoma en la que se realiza el estudio, Cantabria, es poseedora de un fuerte relieve, lo que afecta de manera indiscutible al clima de la zona y es la causa principal de fenómenos atmosféricos peculiares como son las llamadas “suradas”, propiciadas por el efecto Foehn. Este efecto consiste en que el viento del sur, impulsado normalmente por una borrasca, incide templado y húmedo sobre la fachada Sur de la Cordillera Cantábrica, para después, en su ascenso por las empinadas laderas, enfriarse y condensar produciendo lluvia y nieve sobre dicha fachada sur, quedando casi seco al rebasar las altas cumbres desde las que se precipita como una cascada, calentándose y acelerando en su caída por lo que llega con fuerza, seco y racheado, a las tierras bajas de La Marina de Cantabria.

Otro viento muy conocido es el “nordeste”, siempre asociado a tiempo anticiclónico, que despeja los cielos y hace bajar las temperaturas tanto en verano como en invierno. En verano está regulado por la circulación de brisa marina con un marcado ciclo diurno reforzándose a mediodía y por la tarde a medida que el sol va calentando, y desapareciendo durante la noche y la madrugada. Es muy típico de la segunda mitad de julio, y se suele instalar de forma intermitente hasta finales de septiembre. En invierno, el efecto de la brisa es despreciable y a penas modifica su comportamiento, por lo que el ciclo diurno es menos notorio. La única excepción a la relativa bonanza de este tipo de viento son las entradas de masas frías continentales del nordeste, conocidas como “siberianas”, que son las que pueden dejar nieve a nivel del mar.



Entre mayo y septiembre, bajo condiciones muy particulares, los vientos del noroeste aparecen de forma repentina y violenta después de un tiempo sin brisa, calmado y bochornoso. Este fenómeno se conoce como “galerna” y es posiblemente el más peligroso de todos ellos.

#### 4.7. FLORA DE LA ZONA.

##### 4.7.1. Vegetación Climatófila.

###### 4.7.1.1. *Serie climatófila termocolina-colino-montana galaico-asturiana acidófila del Carvallo.*

- Bosque (*Blechno spicant-Quercetum roboris*).

La comunidad climax o cabeza de serie lo forman las carvalledas oligotrofas asentadas sobre sustratos silíceos jurásicos y cretácicos en el piso colino. Tiene una amplia representación en la mitad meridional del territorio, donde se alternan los bosques de robles con los helechales, tojal-brezales y prados de siega. Debido a la composición florística, la etapa madura presenta como elementos directrices *Quercus robur*, *Castanea sativa* y en exposiciones de umbría, sobre todo en ciertas cejas, no es raro encontrar algunas hayas, como sucede en la subida al “Alto de Camplé”. En el término de Puente Viesgo se presenta este tipo de vegetación a partir de los cuatrocientos metros sobre sustratos silíceos.





Figura 4-20: Bosque con Hayas. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Orla arbustiva (*Hyperico pulchri-Quercetum roboris*).

La orla arbustiva está formada por un prebosque de dos o tres metros de porte que rodea al bosque primario o clímax. Se trata de formaciones poco densas dominadas por perales y manzanos silvestres a los que acompañan acebos y avellanos, extendiéndose por la mayor parte de los suelos profundos, tanto silíceos como descarbonatados.





Figura 4-21: Perales (*Pyrus*). (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Brezal-Tojal (*Ulici breoani-Ericetum mackaiana*).

Las diferencias entre la serie climatófila cántabro-euskaldún de la *Hyperico pulchri-Quercetum roboris* y la ovetense de la *Blechno-Quercetum roboris* hay que buscarla en las etapas de brezal y escobonal. El brezal de sustitución en el primer Sector viene definido por la asociación *Daboecio cantabrici-Ulicetum galli*; por el contrario, en el Sector Ovetense el brezal presenta como especie diferencial *Erica mackaiana* Bab. Tanto en el “Pico de la Capía” como en las laderas septentrionales del “Alto de Camplé”, sobre suelos con humedad tanto edáfica como atmosférica, el brezal-tojal se aproxima, en función de su composición florística, a la asociación *Ulici breoani-Ericetum mackaiana*. En las márgenes de la turbera del pago denominado “La Turba”, la formación se enriquece con plantas tales como *Erica ciliaris* y *Gentiana pneumonanthe*, lo cual imprime a la comunidad un carácter más higrófilo. Por este motivo, la conclusión que se obtiene es que la banda que bordea el trampal de “La Turba” es una variante higrófila que puede servir como nexo de unión entre la asociación



*Gentiano pneumonanthe-Ericetum mackaiana* y la *Ulici breoani-Ericetum mackaiana*. Es difícil poder separar ambas comunidades, pero se puede afirmar que la parte oriental es más húmeda, de ahí su presencia en las márgenes de los suelos higroturbosos.



Figura 4-22: Brezales. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).



- El escobón (*Cytisus striatus*).

Es una especie de arbusto perteneciente a la familia de las fabáceas, de hasta 3 m, y muy ramificado. Tiene ramas con ocho costillas muy marcadas, seríceas de jóvenes, y casi glabras de adultas. Hojas trifoliadas o simples; las de los tallos viejos son pecioladas y las de las jóvenes sentadas. Flores solitarias. Cáliz de seríceo a puberulento. Corola amarillo-pálida, con quilla falcada y glabra en la parte superior. Androceo con dos estambres más largos. Estilo enrollado. Legumbre de oblonga a linear-oblonga, más o menos inflada, densamente pelosa, con indumento blanquecino. Habita sobre suelos ácidos en claros de bosques formando parte de piornales y matorrales. Se ha cultivado en taludes y bordes de carreteras, desde donde se ha asilvestrado en algunos países europeos.



Figura 4-23: *Cytisus striatus*. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Prados de siega (*Lino angustifolii-Cynosuretum cristali*).

Los prados de siega sobre suelos silíceos y humedad elevada pertenecen a la asociación *Lino angustifolii-Cynosuretum cristati*. Su valor pascícola es bajo, de aquí que en la mayor parte de los casos sean invadidos por el brezal-tojal o se transformen, por el pastoreo intensivo y manejo inadecuado, en comunidades nitrófilas pertenecientes a la asociación *Lolio-Plantaginetum majoris*. Es digno de consignar la elevada presencia de *Rumex crispus* y *Rumex obtusifolius* como especies indicadoras de la alta nitrificación del suelo.



Figura 4-24: Prado de siega en Cantabria. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).



4.7.1.2. *Serie colina cántabro-euskalduna y ovetense, climática meso-eutrofa del fresno (Polysticho setiferi-Fraxinetum excelsioris Sigmetum).*

Las comunidades de esta serie ocupan, en el término municipal de Puente Viesgo, las zonas bajas sobre sustratos básicos pertenecientes al Lías. Su presencia se pone de manifiesto en el piso colino, sobre todo en las proximidades de los núcleos urbanos Aes e Hijas, en la de zona de los “Morales” y en la umbría del “Pico del Castillo” subiendo a las Cuevas Prehistóricas.

- Bosque (*Polysticho setiferi-Fraxinetum excelsioris*).

La etapa madura de esta serie es un bosque mixto de fresnos y robles albares a los que, a menudo, acompaña el castaño. Normalmente este bosque ha desaparecido por la acción del hombre y su lugar lo ocupan los prados de siega pertenecientes a la asociación *Lino angustifolii-Cynosuretum cristati* o, incluso, en algunas zonas favorecidas, una orla arbustiva de avellana perteneciente a la asociación *Rubus ulmifolii-Tametum communis*. Generalmente el antiguo bosque de fresnos queda reducido a los linderos de fincas, alternando en mosaico con los prados de siega.





Figura 4-25: Fresno. (Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ).

- Espinales (*Rubus ulmifolii-Tametum communis*).

Dentro de esta serie de vegetación son muy típicas las formaciones arbustivas de sustitución del bosque maduro pertenecientes a la asociación *Rubus ulmifolii-Tametum communis*, donde existe una gran abundancia de especies espinosas de los géneros *Rosa*, *Rubus*, *Crataegus* y *Prunus*. Dichos espinales se encuentran sobre suelos profundos, independientemente de la orientación y siempre sobre sustratos básicos.

Esta comunidad tiene una distribución cántabro-euskaldún, picoeuropeano-ubiñense y ovetense, en los pisos colino y montano, de aquí que lo mismo se comporta como etapa preclimática de las fresnedas atlánticas, que de los



encinares cantábricos. Otra característica interesante de esta comunidad es presentarse bajo el aspecto de avellanar.

- Aulagar (*Helictotricho cantabrigi-Genistetum occidentalis*).

El matorral en esta serie de vegetación teóricamente está definido por un aulagar de *Genista hispanica subsp. occidentalis* pertenecientes la asociación *Helictotricho cantabrigi-Genistetum occidentalis*. Sin embargo, esta formación rara vez se observa, porque su área suele estar ocupado por los prados de siega, pilar básico de la economía tradicional en el Valle de Toranzo y en toda la comarca pasiega.

- Pastizal (*Lino angustifolii-Cynosuretum cristati*).

Los prados de siega del piso colino, que se asientan sobre sustratos neutro-básicos, pertenecen a la asociación *Lino angustifolii-Cynosuretum cristati* y son el resultado de un aprovechamiento ordenado y ancestral, tanto a dalla como a diente. Estos prados tienen un origen antrópico, ya que han sido creados y manejados por los lugareños. Gracias a estas comunidades pratenses, la cabaña bovina puede mantenerse durante todo el año en un régimen de semiestabulación. El heno es la base de la alimentación durante la mayor parte del año, reservando el aprovechamiento a diente para el período otoñal.

Dentro del término municipal de Puente Viesgo, se observan grandes diferencias entre los prados de las laderas de la “Sierra de Los Hombres” en Cohiño, asentados sobre calizas y los de La Molina desarrollados sobre areniscas. El manejo de todos los prados es similar, pero la productividad es muy superior en los primeros.

Una práctica común encaminada a la mejora de los pastos es el abonado orgánico con purines y residuos sólidos procedentes de los establos, operación



que se realiza después de la siega. El abonado junto con el aprovechamiento a diente permite el enriquecimiento nitrogenado del pastizal, lo cual se traduce en un equilibrio entre gramíneas y leguminosas, base de su alto valor trofológico.

Así pues, estos prados, en el área cántabro-atlántico, son la etapa de sustitución de origen antrópico de los bosques mixtos de fresnos y robles albares perteneciente a la asociación *Polystico setiferi-Fraxinetum excelsioris*, y de los encinares de *Lauro nobilis-Quercetum ilicis* sobre suelos profundos.

#### 4.7.2. Vegetación edafoxerófila.

4.7.2.1. *Serie edafoxerófila relictas termocolina-colina, cántabro-euskalduna y ovetense, calcícola (Quercus ilex) (Lauro nobilis-Quercetum ilicis Sgmentum).*

- Bosque (*Lauro nobilis-Quercetum ilicis*).

Los encinares del piso colino, de ombrotipo húmedo-hiperhúmedo y de distribución cántabro-euskaldún y ovetense, están consideradas reliquias del Holoceno medio. Se trata de bosques que se desarrollan sobre suelos bien drenados y se extienden a lo largo de la costa cantábrica y en los valles interiores abrigados del distrito Santanderino. Su presencia en el territorio queda reducida al horizonte inferior del piso colino, desde los 70 hasta los 518 metros en “Pico Grande”.

Estos encinares están ligados a los suelos calizos y más concretamente a las calizas carboníferas, buscando siempre las exposiciones de solana, de aquí su comportamiento edafoxerófilo. Son bosques muy alterados como consecuencia de la acción antrópica del hombre y los animales domésticos.

La cabeza de esta serie corresponde a un bosque perennifolio definido por la asociación *Lauro nobilis-Quercetum ilicis*. Los dos elementos principales en el estrato arbóreo son: *Quercus ilex subsp. ilex* y *Laurus nobilis*.





En valles interiores como el de Toranzo, se observa el enriquecimiento en elementos de la clase *Querco-Fagetea* como son: *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Corylus avellana*, etc., al ponerse en contacto con las fresnedas cantábricas de *Polysticho setiferi-Fraxinetum excelsioris* que crecen sobre suelos más profundos.

- Espinares (*Rubus ulmifolii-Tametum communis*).

El encinar se encuentra rodeado por una orla espinosa donde son especies características: *Rosa sempervirens*, *Prunus spinosa*, *Ruscus aculeatus*, *Crataegus monogyna* Jacq, *Rhamnus alaternus*, *Rubus ulmifolius* Schott, *Rubia peregrina* subsp. *longifolia* (Poiret) O Bolós, *Lonicera periclymenum*, *Tamus communis*, lo cual nos sirve para definir la asociación *Rubus ulmifolii-Tametum communis*, comunidad que ya ha sido comentada al estudiar la serie de la fresneda cantábrica.

- Madroñales (*Phillyreo latifoliae-Arbutetum unedonis*).

Este tipo de matorral constituye la etapa preclimática del encinar que preside la serie. En otro tiempo, el madroñal debió ocupar toda la vertiente sur de la “Sierra de los Hombres”, principalmente entre el “Alto de Mina Blanca” y el “Pico del Castillo”. Aquí las pendientes son bastante fuertes y los suelos pedregosos y calizos están muy alterados por el fuego, las cortas indiscriminadas para leña y la erosión.

El antiguo encinar ha dado paso a una formación arbustiva abierta y olivada, dominada casi exclusivamente por *Phillyrea latifolia*, planta a la que los lugareños de Cohiño denominan «graso». Aunque no se ha encontrado una muestra bien conservada de este tipo de vegetación, se considera, por los restos



existentes, que esta comunidad pertenece a la asociación *Phillyreo latifoliae-Arbutetum unedonis*.

Es destacable tanto la inexistencia de individuos de *Arbutus unedo* abundante en la zona litoral, como que los restos de la vegetación de lindero de bosque pertenecen al orden *Origanietalia vulgaris* y a la alianza *Geranion sanguinei*.

- Aulagares (*Helictotricho cantabrici-Genistetum occidentalis*).

La desaparición de estos encinares y madroñales en el piso colino, sobre los suelos pedregosos calizos, ha permitido la instalación de una comunidad fruticosa de aulagas y brezos. Se trata de un matorral denso, de talla media y dominado por *Genista hispanica subsp. occidentalis* Rouy y *Erica vagans*, a las que acompañan algunas gramíneas como *Helictotrichon cantabricum* (Lag.) Gervais, *Sesleria argentea* (Savi) Savi y otros taxones como *Teucrium pyrenaicum*, *Lithodora diffusa* (Lag.), *Seseli cantabricum* Lange, etc. Una vez analizada la composición florística de estos aulagares, se considera que la comunidad que forman debe ser incluida en la asociación *Helictotricho cantabrici-Genistetum occidentalis*.

- Lastonares (*Aveno cantabricae-Seslerietum hispanicae*) (*Helictotricho cantabrici-Seslerietum argenteae*).

En los afloramientos de rocas calizas se instala una vegetación amacollada de gramíneas cuyo elemento más representativo es *Brachypodium pinnatum* al que acompañan *Helictotrichon cantabricum* (Lag) Gervais, *Sesleria argentea* (Savi) Savi y *Teucrium pyrenaicum* Pourret. Se trata de lastonares basófilos con distribución cántabro-euskaldún y también ovetense, aunque las calizas carboníferas del piso colino son las menos indicadas para establecer diferencias entre ambos subsectores.



- Prados de siega (*Malvo moschatae-Arrhenatheretum bulbosi*).

La desaparición de los encinares, así como de las fresnedas sobre suelos profundos en el término de Puente Viesgo y, en general, en todo el Valle del Pas, está ligada, al establecimiento de prados de aprovechamiento intensivo.

En la vertiente sur de Pico Grande se encuentran los mejores prados de siega de todo el término municipal, aunque, actualmente, el envejecimiento de la población y la fragosidad del terreno están relajando su explotación.

Por estos motivos, hoy en día sólo son dallados una vez al año, lo cual permite instalarse una pradera perteneciente a la asociación *Malvo moschatae-Arrhenatheretum bulbosi*, este tipo de prado es muy escaso en el piso colino, ya que lo normal es que estén sometidos a una explotación intensiva, dando como resultado el establecimiento de otro tipo de pastizal encuadrado en la asociación *Lino angustifolii-Cynosuretum cristati*.

#### 4.7.3. Vegetación edafohigrófila.

4.7.3.1. *Serie edafohigrófila termocolina, colina, ovetense, cántabro-euskalduna, aquitano-landesa y ubiñense picoeuropeana del aliso (Alnus glutinosa) (Hyperico androsaemi-Alnetum glutinosae Sigmoidum).*

- Bosques mixtos ribereños con alisos (*Hyperico androsaemi-Alnetum glutinosae*).

Representan la vegetación que se asienta a lo largo del río Pas y de los arroyos de Trascampo y Moro, que recogen las aguas de las barcnas meridionales de Cohiño, Hijas, La Molina y Aes. Son bosques ligados a suelos excepcionalmente húmedos e incluso temporalmente encharcados.

A lo largo del río Pas, en el tramo correspondiente al término municipal de Puente Viesgo, la aliseda se encuentra perfectamente establecida, formando un



bosque denso y bien estructurado. En la cabecera del arroyo Moro, sobre sustratos silíceos, la aliseda presenta como especie diferencial el helecho real.

- Saucedas (*Salicetum angustifolio-albae*).

Sobre los suelos de vega formados por elementos finos, la aliseda es sustituida por una vegetación arbolada. Esta comunidad está definida en función de la composición florística y por el tipo de suelo que coloniza. Estas saucedas arbóreas se observan en el término de Corvera de Toranzo, en el paraje denominado «El Soto».

- Espinares higrófilos y saucedas colonizadoras de lecho de río.

Se encuentran en el lecho mayor del río Pas, sometidos a las avenidas primaverales y a un fuerte estiaje durante el verano, se encuentran tapizados por lentejones aluviales de abundantes cantos rodados y arenas gruesas de naturaleza calcárea. Este tipo de suelo poco evolucionado y muy suelto es el medio ecológico idóneo para la instalación de una mimbrera arbustivas.

#### 4.8. FAUNA DE LA ZONA.

El Río Pas, es un curso fluvial que desde su nacimiento en varios arroyos entre las Peñas Negras las estribaciones de Castro Valnera, hasta su desembocadura en el Mar Cantábrico, a través de la Ría de Mogro, recorre 61 Kilómetros.

Atraviesa nueve municipios, Vega de Pas, San Pedro del Romeral, Luena, divide Santiurde de Toranzo de Corvera de Toranzo, después Puente Viesgo de Castañeda, Piélagos, y por último su desembocadura sirve de frontera con Miengo.

Atraviesa a su paso pequeñas localidades como Vegas de Pas, Entrambasmestas, Bárcena, Alceda, Ontaneda, San Vicente de Toranzo, Santiurde de Toranzo, Iruz, Puente



Viesgo, Vioño, Renedo, Oruña y Mogro. Sus principales afluentes son los ríos Luenta o de La Magdalena (17,4 Km) y Pisueña (34,7 Km).

La cuenca hidrográfica que lo alimenta tiene 661 Km<sup>2</sup>. Su caudal medio anual es de 8,98 m<sup>3</sup>/seg., con mínimos estivales de 4,11 m<sup>3</sup>/seg. y máximos de 18,06 m<sup>3</sup>/seg.

Desde el alto de Peña Negra, a 1496 metros de altura, se van reuniendo las aguas de la ladera en pequeños arroyos de montaña, como el Pandillo o el Rucabao, hasta las casas de Pandillo, cuando ya adquiere su nombre, entre riegas que van aportando sus aguas desde las laderas, siguiendo una dirección hacia el noroeste que continúa hasta Portilla, un pequeño pueblo a cinco kilómetros de su origen, que se sitúa en la primera vega que deja el río al girar para tomar dirección oeste. Dos kilómetros después, en la unión con el Río Yera se abre otra vega, que acoge la población, algo mayor, de Vega del Pas. Siguiendo la corriente, que pasa por debajo del Puente Colgante de Ocejo, construido por la siderúrgica Nueva Montaña Quijano, llegamos a Entreambasmestas, donde se une el Río de Luenta.

Nuevamente en dirección noroeste, las vegas se van haciendo más amplias, así como las poblaciones que las ocupan, como Ontaneda, donde rota hacia el norte, para circular, encauzado, por el entorno de Iruz. Tras esto, corta las rocas de Monte Castillo, donde los hombres prehistóricos encontraron abrigo en varias cuevas, justo antes de llegar a Puente Viesgo. Desde aquí, donde llega el Río Psueña se abre una vega ya francamente amplia, que ocupa Villabáñez, Vargas y Socobio. Siguiendo por estas zonas amplias y muy urbanizadas se llega a Renedo, Oruña, Arce y Mogro, donde el estuario que comunica el río con el mar mediante la Ría de Mogro, dejando un conjunto dunar de Liencres y las playas de Usil, La Robayera y Valdearenas.

El Lugar de Interés Comunitario Río Pas protege todo el recorrido del curso fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura, así como el de su afluente, el Río Pisueña. Las especies presentes en este LIC son el Salmón Atlántico, el Desmán Ibérico, la Nutria, la Madrilla y el Cangrejo de Río. Su desembocadura, se corresponde con el Lugar de Interés Comunitario Dunas de Liencres y Estuario del Pas. Aquí aparece, además del Salmón y la Madrilla, varias especies de murciélagos, el Ciervo Volante, Sapillo pintojo Ibérico y el

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 180



Lagarto verdinegro, así como la vegetación de dunas móviles y fijas, matorrales halófilos, que se encuentra a gusto con los ambientes salados de mar.

Además, el Parque Natural de Las Dunas de Liencres también rige sobre la desembocadura del Pas desde su declaración en 1986. En él se encuentran las propias dunas, la Playa de Valdearenas y la de Canavelle, así como un bosque de Pino Marítimo.

Las dunas son amontonamientos de arena que crea el viento, y son móviles, es decir, continúan formándose en la zona más cercana a la playa hasta que la vegetación dunar las va fijando en la parte más interior. La plantación de Pino Marítimo fue plantada en 1949 para ayudar a su fijación.

Desde el Siglo XI, en los valles altos del Pas ha vivido un grupo humano cuya economía se basa en la ganadería trashumante, los pasiegos. Durante la primavera y el verano subían a vivir al monte, en cabañas dispersas, mientras los pastos de montaña eran practicables para bajar a pasar el invierno en las villas como Vega del Pas. Ser diferentes creó un cierto sentimiento de rechazo entre sus vecinos. De este lugar proceden los sobaos pasiegos, que poseen una Indicación Geográfica desde el año 2004, una figura que protege un producto agrícola.

Las Cuevas del Monte Castillo son un conjunto de cuevas que muestran la cultura de los hombres que habitaban en estas tierras en el paleolítico. La Cueva del Castillo, fue descubierta en 1903, y mientras se excavaba en ella se encontró la Cueva de La Pasiega en 1911. Posteriormente, en 1952, al hacer una roza para plantar eucaliptos se encontró una tercera cueva, llamada de Las Monedas al encontrarse en ella dinero del siglo XVI. Al año siguiente se encuentra la de Las Chimeneas al realizar prospecciones geológicas. En ellas se encuentran restos arqueológicos y pinturas rupestres, por lo que se han incluido como Patrimonio de La Humanidad de la Unesco desde el año 2008.

#### 4.8.1. Fauna del río Pas.

El río Pas es uno de los más importantes a nivel de Cantabria y de todo el Cantábrico por su riqueza piscícola, especialmente en lo que se refiere a salmónidos. Aún sobrevive en





sus aguas el salmón atlántico (*Salmo salar*) catalogado como 'Vulnerable' en el Libro Rojo de los Vertebrados Españoles o la trucha común (*Salmo trutta*).

Además de la población piscícola, el río Pas y sus afluentes albergan poblaciones de especies relevantes de herpetofauna, como es el caso de la rana patilarga, Rana ibérica, catalogada como 'Vulnerable' en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Cantabria cuya presencia ha sido descubierta en años recientes en el arroyo Yera gracias a los voluntarios del Proyecto Ríos en Cantabria (Red Cambera, 2013). También otras especies como tritón alpino *Mesotriton alpestris*, tritón palmeado *Lissotriton helveticus*, sapo partero común *Alytes obstetricans* o rana bermeja *Rana temporaria*, todas ellas están catalogadas como 'De Interés Especial' en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, cuentan con poblaciones destacadas en la zona.

Entre los mamíferos, el medio fluvial alberga al desmán ibérico (*Galemys pyrenaicus*), un micromamífero acuático endémico de la Península Ibérica y recogido en el Libro Rojo de los Mamíferos de España en la categoría de 'Vulnerable', al igual que para la UICN, y que ha sido citado en el tramo alto del río Pas (Simal & Serdio, 2009). También la nutria paleártica (*Lutra lutra*) habita en la cuenca del río Pas y en toda el área potencialmente afectada, además de otro mustélido semiacuático como es el turón (*Mustela putorius*).

#### 4.8.1.1. Ecosistemas del curso alto del río.

Desde el mismo nacimiento, los manantiales y arroyos ya muestran una flora y fauna asociada a sus características hidrológicas, litológicas y al clima. Aunque las aguas son frías y aún arrastran pocos sedimentos y nutrientes, ya aparecen algunas especies de musgos y hepáticas.

Aguas abajo de la cabecera, los arroyos discurren generalmente con pendientes muy fuertes arrastrando sedimentos y nutrientes, condiciones que dificultan el asentamiento de la flora y la fauna. A medida que se desciende por el curso alto se van agregando más plantas superiores, son frecuentes las comunidades de plantas megafórbicas de exuberante follaje a base de hojas grandes y anchas.



Algunas aves y mamíferos, sin ser estrictamente acuáticos, han vinculado su vida a estas zonas del río, ejemplos de ello son el mirlo acuático, el desmán y la nutria (*Lutra lutra*), siendo esta última de gran interés especial y revelando una buena salud del río y de las aguas en las que se encuentra. Los vertidos industriales, urbanos y mineros poco controlados en el pasado, la hicieron abandonar los tramos bajos y medios del río, permaneciendo en los cursos altos y limpios.

A continuación, se citan las especies animales y vegetales más comunes en la parte alta de los cauces:

- *Marsupella aquatica*
- *Nardia compressa*
- *Philonotis seriata*
- Saxífraga dorada
- Saxifraga stellaris
- Centella Caltha palustre
- Algas azules: como las del género Nostoc
- Plantas megafórbicas: Valeriana mayor, Valeriana *pyrenaica* y la *Adenostyles alliariae*
- Arbusto endémico de la Cordillera Cantábrica, la salguera cantábrica (*Salix Cantabrica*)
- Sauces ribereños, sarga de hoja estrecha (*Salix eleagnos*) y la salguera negra (*Salix atrocinerea*)
- Bosque de montaña: hayedos, robledales y abedulares
- Bosque de ribera: fresnos, arces, avellanos, olmos y hayas, pudiendo aparecer algún roble albar, abedul y acebo
- Ranas bermejas, tritón alpino, tritón palmeado o el ibérico
- Mirlo acuático (*Cinclus cinclus*)
- Topo de agua, almizclero o desmán (*Galemys pyrenaicus*)
- Nutria (*Lutra lutra*)
- Visón europeo (*Mustela lutreola*)
- Peces: trucha común (*Salmo trutta*)



- Cangrejos de río autóctonos (*Austropotamobius pallipes lusitanicus*)

#### 4.8.1.2. *Ecosistemas del curso medio del río.*

Cuando los ríos discurren por el valle, la pendiente se reduce, y lo mismo hace la velocidad del agua y su turbulencia. Al disminuir la fuerza del arrastre, se produce la sedimentación de los materiales orgánicos y minerales. La composición de las gravas del fondo depende de la constitución geológica de la cuenca vertiente por la que discurre el río, en la que pueden predominar las rocas calizas o silíceas.

En las zonas más remansadas de las riberas del río, algunas plantas encuentran su primera oportunidad para enraizar, entre las gravas y guijarros sedimentados. En este tramo de río hay gran número de especies de algas microscópicas de los grupos *Chlorophyceas*, *Cyanophyceas* y Diatomeas que juegan un papel importante como indicadores de calidad y a su vez sirven de alimento a muchos organismos ramoneadores que proliferan en este tramo, sobre todo moluscos. Otro grupo importante de organismos macroscópicos asociados a tramos medios son los filtradores y los recolectores que se encuentran en gran proporción mientras que los trituradores disminuyen por las propias características del tramo.

En este tramo de río se pueden encontrar moluscos: ejemplares adultos de mejillón de agua dulce o madreperla del río (*Margaritifera margaritifera*). La distribución de esta especie en el Cantábrico abarca desde el río Narcea en Asturias hasta el río Tea en Pontevedra localizándose en numerosos ríos de Galicia Costa. No hay constancia en ríos más orientales.

Entre la fauna vertebrada se incluye también la trucha (*Salmo trutta*), así como su pariente y emblema de los ríos cantábricos, el salmón atlántico (*Salmo salar*). Después de permanecer de uno a tres inviernos en aguas de Groenlandia, de las islas Feroes o costas de Noruega, un fuerte instinto hace que el salmón vuelva al río que le vio nacer, pese a estar a miles de kilómetros. Gracias a su olfato, el pez reconoce las aguas donde nació y penetra río arriba. La crecida del río y el aumento del caudal suponen una gran



resistencia a vencer, pero también le permite remontar rápidos que con menos caudal le dejarían varado.

Otra especie piscícola que puede encontrarse en el tramo medio de la cuenca del Cantábrico es la alosa o sábalo (*Alosa alosa*) perteneciente a la familia de los cupleidos, por su carácter anádromo remonta los cursos medios y bajos hasta límites generalmente coincidentes con presas o escalas salmoneras no superables debido a su menor capacidad natatoria. Su presencia en nuestras latitudes es menor que la de los salmónidos, siendo mucho más abundante en los ríos franceses de fachada Atlántica. Otra especie del mismo género es la saboga (*Alosa falax*) muy parecida a la anterior, aunque algo más pequeña, ambas especies se ven afectadas (además de por los obstáculos) por la degradación de los tramos bajos de los ríos que impide el retorno de sus poblaciones.

Entre marzo y agosto podemos ver al avión zapador (*Riparia riparia*), así llamado por su costumbre de excavar largos túneles en taludes terrosos, en cuyo extremo nidifica. Es una especie muy gregaria, que constituye bandos numerosos y agrupa sus nidos en colonias. Su presencia está amenazada por obras que eliminan los taludes verticales de alguna ribera erosionada por el río, en los que anidan.

A continuación, se citan las especies animales y vegetales más comunes en la parte media de los cauces:

- Algas microscópicas de los grupos *Chlorophyceas*, *Cyanophyceas* y *Diatomeas*  
líquenes que soportan la inmersión casi permanente, musgos y hepáticas
- Plantas superiores del género *Potamogeton*, *Ranunculaceas*
- Especies vegetales como las salgueras y sauces arbustivos, colonizando los islotes fluviales y riberas o playas fluviales
- Sauce o sarga de hoja estrecha (*Salix eleagnos*)
- Salguera negra (*Salix atrocinerea*)
- Sauce blanco (*Salix alba*)
- Mimbrera (*Salix fragilis*)
- Chopos
- Álamos negros (*Populus nigra*)



- Álamo temblón (*Populus tremula*)
- Álamo blanco (*Populus alba*)
- Aliso o “humero” (*Alnus glutinosa*)
- Mejillón de agua dulce o madreperla del río (*Margaritifera margaritifera*)
- Peces: trucha (*Salmo trutta*), el salmón atlántico (*Salmo salar*), alosa o sáballo (*Alosa alosa*), saboga (*Alosa falax*).
- Fauna herpetológica: salamandra rabilarga (*Chioglossa lusitanica*)
- Martín pescador (*Alcedo atis*)
- Lavandera de cascada (*Motacilla cinerea*)
- Avión zapador (*Riparia riparia*)
- Garza real (*Ardea cinerea*)

#### 4.8.1.3. *Ecosistemas del curso bajo de los ríos.*

Si en el curso medio abundan los fondos de gravas y guijarros, en este tramo predomina la sedimentación de los materiales transportados. Por otro lado, la oxigenación del agua es menor, aunque en parte esté compensada por la actividad fotosintética de las plantas acuáticas. La temperatura es algo mayor que en los tramos precedentes. La materia orgánica que llega viene ya en partículas disueltas, incorporándose al fondo de lodo y fango, poco oxigenado. En estas condiciones el lecho del río está colonizado por invertebrados detritívoros que, junto a unos pocos predadores, ocupan el tramo bajo de los ríos desapareciendo prácticamente los ramoneadores y filtradores. La reducción de pendiente y la velocidad facilita la proliferación de esta fauna que sirve de alimento a numerosas aves.

Además, cuando el río va llegando a las proximidades del mar aparece otro interesante fenómeno de gran importancia natural: dos veces al día, en la pleamar, las aguas marinas invaden el cauce fluvial, enfrentándose ambas corrientes y entremezclándose gradualmente sus aguas. La vegetación del curso bajo se corresponde en líneas generales, con la descrita en el tramo medio, pero, sin embargo, cuando el río crea pantanos adyacentes a su curso, la aliseda adopta un aspecto más singular. El antiguo



cauce puede quedar separado del flujo principal del río, aunque este sigue aportándole agua y manteniéndolo encharcado, la aliseda pantanosa que aquí se desarrolla se caracteriza por una peculiar morfología, quedan al aire las raíces de los alisos.

Otros árboles y arbustos presentes son la salguera cenicienta (*Salix atrocinerea*), el abedul (*Betula celtiberica*), el arraclán (*Frangula agnus*), etc. La abundancia de vida que se localiza en las riberas de las vegas fluviales y estuarios facilita la presencia de diversos carnívoros.

En cuanto a la vida piscícola, se encuentra la lamprea y el salmón, los cuales nacen y se reproducen en el río, engordando y creciendo en el mar, mientras la anguila (*Anguilla anguilla*), invierte esas conductas, naciendo y reproduciéndose en el mar y creciendo en el río.

A continuación, se citan las especies animales y vegetales más comunes en la parte baja de los cauces:

- La avoceta (*Recurvirostra avoceta*)
- Andarríos chico (*Actitis hypoleucos*)
- Garza real (*Ardea cinerea*)
- Rana de San Antón (*Hyla arborea*), especie clasificada como especie vulnerable
- Rana verde ibérica (*Rana perezi*)
- Zorro (*Vulpes vulpes*)
- Garduña (*Martes foina*)
- Armiño (*Mustela erminea*)
- Hurón (*Putorius putorius*)
- Peces: La lamprea marina (*Petromyzon marinus*), salmón, anguila





#### 4.9. PATRIMONIO DE LA ZONA.

En lo referente a la arqueología, entre los hallazgos arqueológicos documentados en esta zona de la región consta la Piedra de Bustefrades, localizada en la divisoria entre Villacarriedo y Vega de Pas, hito de gran altura y de antigüedad desconocida. Por encima del río Pas, en su margen derecha, bajo el barrio de Guzparras, se hallan varias cabañas rupestres excavadas en roca, que fueron utilizadas tradicionalmente como habitáculo humano y animal. Otro yacimiento arqueológico apuntado por algunos investigadores es una estructura de piedra circular descubierta en los altos de La Braguía, que se supone que es un calero; es interesante por su escasez en estos paisajes.

##### 4.9.1. Arquitectura religiosa.

Desde el punto de vista religioso, lo más interesante del patrimonio de este municipio es la iglesia de Nuestra Señora de la Vega, un edificio que se encuentra en la plaza de la capital municipal y que fue levantado en el siglo XVIII. Presenta crucería gótica y un reloj al lado derecho de la espadaña. Guarda en su interior la imagen de la Virgen de la Vega. Otro edificio destacable es la ermita de la Virgen de La Gurueba, que se encuentra en el núcleo del mismo nombre.

##### 4.9.2. Arquitectura civil.

La construcción más singular y significativa de esta zona de Cantabria es, sin duda, la cabaña pasiega. Esta peculiar edificación, que tiene su origen en la cultura pastoril de los Montes de Pas y en los modos de vida aparejados a ella, se contaba por miles, aunque el paso de los años y el abandono de las formas tradicionales de subsistencia han conllevado el progresivo deterioro de muchas de ellas. Estas cabañas típicas representan el más genuino ejemplo de adaptación del hombre al entorno, pues se trataba de sencillas edificaciones de piedra y lastra levantadas en parcelas de tierra en propiedad, en las que se aplicó entre los siglos XVI y XVIII el sistema de cierres con muros de piedra para desarrollarse en ellas la explotación ganadera de forma temporal. La costumbre semitrashumante de los pasiegos, conocida como muda, determinó el cambio del

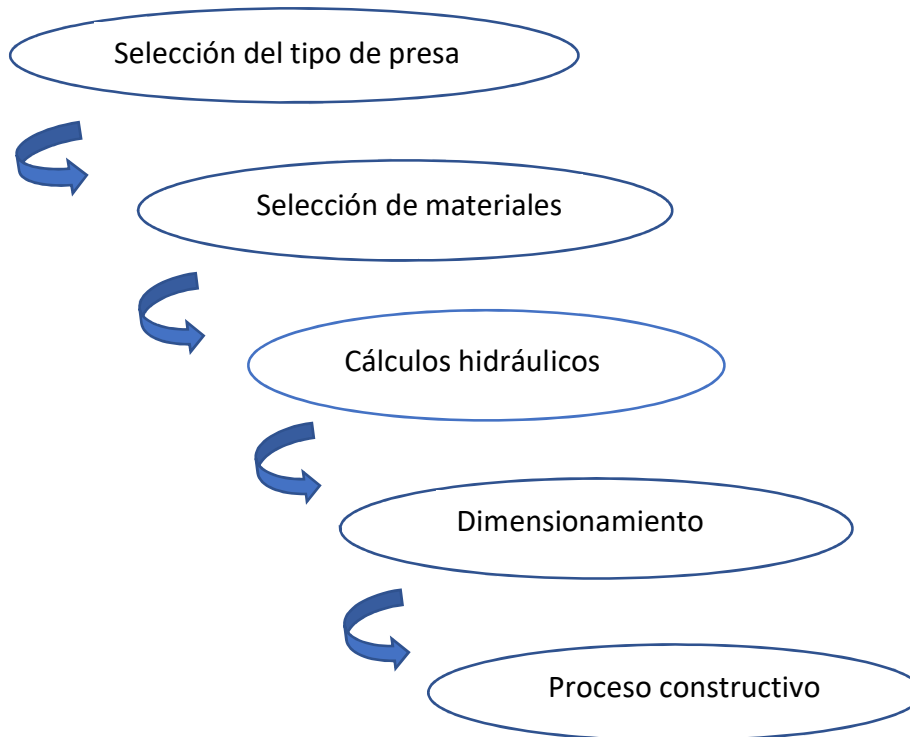
ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 188



modelo de vivienda y que a cada finca acompañase siempre una cabaña, de tal forma que cuando era preciso el traslado de ganado en busca de mejores pastos, estas edificaciones proporcionaban no solo cobijo a las reses, sino también vivienda a los pastores. Las cabañas pasiegas comparten las características básicas estructurales, pues son construcciones de planta rectangular con cimentación.

## 5. SOLUCIÓN ADOPTADA Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.

Para la obtención de la solución apropiada se procede a la realización de un flujograma que servirá para estructurar toda la información referente a la elección del tipo de presa.



### 5.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA.

La solución adoptada con objeto de dar respuesta a la problemática planteada en el estudio reside en el planteamiento de una presa de materiales sueltos con un núcleo de ciclópeo. Debido a los refuerzos que tiene de puntera es una mezcla entre presa convencional y de relleno. La presa que se ha planteado tiene una altura de 50 metros y una longitud de 357,739 metros. Como se ha mencionado anteriormente en otros apartados, se ha elegido esta opción de presa tras varios planteamientos en la zona, puesto que las cubicaciones obtenidas de los otros planteamientos eran insuficientes para justificar el establecimiento de la presa.

Además, otros argumentos hacen de la construcción de la presa una elección favorable, por ejemplo, evitar un posible desbordamiento. Como bien es sabido, las crecidas históricas del río Pas en el pasado produjeron cuantiosos daños, el mayor ejemplo fue a

ESTUDIO SOBRE EL DISEÑO PARCIAL DE UNA PRESA EN LA VEGA DE PAS, CANTABRIA. 190



finales de agosto de 1983, cuando el río Pas desbordó a su paso por Renedo, dejando pérdidas materiales cuantificadas en millones de euros y pérdidas humanas, dejando cuatro fallecidos. Los desbordamientos en el río Pas se deben al conjunto de precipitaciones muy fuertes con la fuerte pendiente el terreno por la que circulan los cursos de agua. Pese a que actualmente el río Pas ya cuenta con algunas medidas de contención ante posibles crecidas, y la acción reguladora dejaría notar sus efectos principalmente sobre las aguas asociadas a la cuenca de aportación del afluente considerado, el Pandillo. El establecimiento de esta presa proporcionaría una mayor seguridad al municipio, controlando de este modo uno de los mayores afluentes del río Pas.

Otro de los argumentos a favor de la instalación de la presa es la aportación social que pueda tener a los pueblos de alrededor, sirviéndoles para abastecimiento humano o para abastecimiento agrícola y ganadero. La Vega de Pas está formada por siete núcleos de población, que son los siguientes:

- Candolías: es el barrio más cercano a la capital, de la que le separan 1,3 Km, y tiene una altitud de 410 metros sobre el nivel del mar. En el año 2004 se documentaron 132 habitantes.
- La Gurueba: junto al curso del río Pas, en el extremo oeste del municipio, a 214 metros de altitud. La distancia a la capital es de 5 Km y el año 2004 se documentaron 85 habitantes.
- Pandillo: es la localidad más importante desde el punto de vista demográfico tras la capital, pues cuenta con 190 habitantes (2004). Está ubicada en el extremo noroeste del municipio, a 534 metros de altitud, y dista 3,5 Km de La Vega de Pas.
- Vega de Pas: es el núcleo más poblado, con un total de 319 habitantes (2004) y sobre él recae la capitalidad del municipio. Está situado en el centro geográfico del término, a una altitud de 358 metros.



- Viaña: en la franja oeste del municipio se localiza este barrio, distante 3 Km de la Vega de Pas, cuya población la integran 71 habitantes (2004). Está enclavado a una altitud de 548 metros.
- Yera: está compuesto por 140 habitantes (2004), se encuentra a 2,5 Km de la capital y tiene una altitud de 569 metros sobre el nivel del mar.

En conclusión, la presa proporcionaría una protección adicional a unas 1000 personas, residentes en el municipio de la Vega de Pas.

Además, la presa no beneficiaría únicamente al sector poblacional aguas abajo, sino que hay que tener presentes otros sectores como la industria o como el sector primario. Según el ICANE (Instituto Cántabro de Estadística), en el año 2015, en la Vega de Pas están ubicadas cuatro industrias y 5 establecimientos relacionados con la agricultura y la pesca. Todos ellos son consumidores potenciales del agua de la presa de estudio.

Por último, pero no por ello menos importante, la ubicación de la presa permitiría en un futuro su explotación energética, instalando una central hidroeléctrica. En Cantabria, la potencia instalada procedente de renovables alcanza un valor promedio de 55,6 KW/1.000 habitantes (2008). En 2012 existían 464,09 MW de potencia instalada de Energía Hidroeléctrica en Cantabria (Régimen ordinario y especial). A pesar de ser una tecnología consolidada y eficiente, la energía hidroeléctrica tiene todavía potencial aún sin explotar, de carácter sostenible, de forma que sea compatible con la protección medioambiental y la calidad de los recursos hídricos, así como por razones de seguridad y diversificación del suministro de energía y de cohesión económica y social. Por esta razón la instalación de la presa y su posible explotación supondría una mejora notable en la Comunidad Autónoma de Cantabria.



## 5.2. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Los factores más importantes en la elección de la tipología de la presa son el tipo, la cantidad y condiciones naturales de los depósitos de los materiales disponibles en las cercanías de la cerrada.

Un diseño económico se basa, casi siempre, en el aprovechamiento máximo de los materiales que existen en las proximidades, o de los que se obtendrán en las excavaciones para la implantación del cuerpo de la presa, o de sus posibles obras anejas.

En relación con el tipo de material, se puede afirmar que toda la amplia gama de suelos llamados convencionales, han tenido o tienen una muestra en los espaldones o núcleos de presas construidos. Desde arcillas muy plásticas hasta escolleras de la mejor calidad, gran parte de ellos suelos intermedios, han sido utilizados.

En cuanto a escolleras, la tendencia moderna se dirige hacia una mayor liberalidad, tanto en lo que respecta a la calidad de la matriz rocosa, como en lo referente a la granulometría admisibles. En tiempos pasados se han desechado, en cantera, grandes volúmenes de material meteorizado y se ha exigido una piedra de gran tamaño y muy sana, con una durabilidad clara. Actualmente, con una tendencia al empleo de escolleras no simplemente vertidas en tongadas altas, sino compactadas en capas de 1 a 2 metros de espesor, esos requisitos son menos imperativos. Se ha comprobado que las escolleras de matriz rocosa de calidad intermedia, de granulometría extendida, con bastantes finos, pero bien regada y compactada, son mejores, por ser menos deformantes y tener una mayor resistencia al esfuerzo tangencial, que otra de la misma piedra menos meteorizada y mal graduada. Se han conseguido densidades secas superiores a  $2,30 \text{ Kg/cm}^3$  con granulometrías extendidas y módulos de deformación medios por encima de  $1000 \text{ Kg/cm}^2$ , cifras prácticamente imposibles de obtener con escolleras de piedra homogénea, por buena que sea la calidad de la roca matriz.

Dentro de la sección tipo de una presa de materiales sueltos existen amplias zonas en las que las propiedades del material tienen una influencia moderada en el comportamiento del conjunto. La colocación, en ellas, de un material mediocre no





requiere un mayor volumen total de materiales. Se pueden conservar los parámetros exteriores, sin perderse por ello seguridad global en la obra.

Pero si bien en lo que respecta al tipo de material existen muy amplias posibilidades, las condiciones del yacimiento natural y de su colocación en obra imponen restricciones que limitan su utilización o que exigen procesamientos previos.

Son varios los temas que deben ser tenidos en cuenta durante las prospecciones de las canteras:

- i. La homogeneidad del material para el núcleo, o de la zona de la presa que ejerza las funciones de tal. Si el suelo obtenible es o puede ser muy variable en su tipo o permeabilidad, en distancias cortas, de forma que dentro de una misma tongada o en tongadas próximas el material colocado fuese claramente heterogéneo, es preciso, si se quiere utilizar la cantera, adoptar los métodos pertinentes para homogeneizarla, dentro de unos límites admisibles para los objetivos que se buscan con el material.
- ii. La adecuación de la humedad natural en yacimiento con la óptima de compactación para la maquinaria o energía que se vaya a utilizar en la obra.

La investigación de canteras o de las posibles fuentes de material, y su ensayo en terraplenes experimentales en casos dudosos, es punto primordial al que el proyectista debe prestar la máxima atención. Cualquier desviación respecto a los planes previsto, durante la construcción, puede suponer importantes modificaciones en el perfil tipo y probablemente en el coste y demora de las obras.

### 5.3. DIMENSIONAMIENTO.

#### 5.3.1. Cálculo de la altura de la presa.

Para calcular la altura de la presa estudio se ha utilizado un estudio de volumetría, en el que se han comparado varias presas similares y se ha optado por una altura similar a ellas.



Tras los cálculos y las cubitaciones del estudio se ubicó la presa en un rango volumétrico de aproximadamente un hectómetro cúbico, por lo que se investigaron las presas con una capacidad similar y se adoptó por ello la altura de 50 metros para la presa estudio.

Algunas de las presas que se tomaron como ejemplo son:

- La presa Pielago en el río Guadyerbas, perteneciente a la demarcación hidrográfica del río Tago, con una altura de 36 metros y una capacidad volumétrica de  $1 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Mendaur en el río Armaurri, perteneciente a la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental, con una altura de 31 metros y una capacidad de  $1 \text{ hm}^3$ .
- La presa de La Jocica en el río Dobra, perteneciente a la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental, con una altura de 87 metros y una capacidad de  $0 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Valdemurio en el río Quirós, perteneciente a la demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental, con una altura de 40 metros y una capacidad de  $0,854 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Barrendiola en el río Barrendiola, perteneciente a la demarcación hidrográfica de las cuencas internas del País Vasco, con una altura de 47 metros y una capacidad de  $2 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Urtatza en el río Urtatza, perteneciente a la demarcación hidrográfica de las cuencas internas del País Vasco, con una altura de 42 metros y una capacidad de  $1 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Oyola en el río El Cuadro, perteneciente a la demarcación hidrográfica de las cuencas internas del País Vasco, con una altura de 41 metros y una capacidad de  $1 \text{ hm}^3$ .
- La presa de Vallforners en el río Riera de Canoves, perteneciente a la demarcación hidrográfica de las cuencas internas de Cataluña, con una altura de 62 metros y una capacidad de  $2 \text{ hm}^3$ .



Una vez dimensionada la presa, después de hacer las cubicaciones pertinentes, se calcula de nuevo la capacidad volumétrica que va a tener que es de 1.766.423,45 m<sup>3</sup>, lo que equivale a 1,766 Hm<sup>3</sup>.

### 5.3.2. Cálculo de la anchura de coronación.

Además de los requerimientos de las servidumbres de paso que pudieran establecerse por la coronación de la presa, esta debe tener la suficiente anchura para que la estabilidad de la parte alta del terraplén, la más afectada por posibles fisuraciones o efectos sísmicos, sea la adecuada.

En presas zonadas el alojamiento cómodo y suficientemente amplio de núcleo y filtros, de acuerdo con tales recomendaciones exige, también, un dimensionamiento generoso.

Existen varios métodos para el cálculo de la coronación de una presa. A continuación, se representa alguno de ellos.

- La instrucción para el Proyecto de Presas establece la siguiente fórmula:

$$C = 3 + 1,5 \sqrt[3]{H - 15}$$

Siendo H la altura de la presa en metros. El valor resultante se incrementa en un 25% para zonas de sismicidad media y en un 50% para regiones de alta sismicidad.

Aplicando esta fórmula a los datos de nuestra presa obtendríamos un valor de asiento de coronación de:

$$C = 3 + 1,5 \sqrt[3]{H - 15} = 3 + 1,5 \sqrt[3]{50 - 15} = 7,90 \text{ m}$$

Sabiendo que en zonas de sismicidad media  $C' = 1,25 \times C$  y en zonas de sismicidad alta  $C' = 1,50 \times C$ .



- Según el U.S Bureau of Reclamation la ecuación que representa el cálculo en el diseño de la corona de una presa es la siguiente:

$$a = (H / 5) + 3$$

Donde a es el ancho de corona y H la altura de la presa en metros. Aplicando nuestros datos a esta fórmula obtenemos el siguiente resultado:

$$a = (50 / 5) + 3 = 13 \text{ metros.}$$

En este estudio, por seguridad optamos por un valor intermedio de la anchura de coronación de la presa, por lo que 10 metros es el valor del ancho de coronación de la presa estudio.

La coronación de la presa contará con dos carriles de circulación en ambos sentidos de la misma, con una anchura de 3,5 metros cada uno. Además, a ambos lados de los carriles por la parte externa de los mismos se ubicarán dos aceras, con una medida de 1 metro de ancho cada una. Para finalizar en la anchura de medio metro que resta de ambos laterales de la coronación de la presa se situarán vallas de protección.

Con la anterior distribución se aprovecha al máximo la coronación de la presa.

### 5.3.3. Cálculo del momento de vuelco de la presa.

A continuación, se muestra la sección transversal de la presa sobre la que estamos realizando el estudio. Por colores podemos diferenciar tres zonas: la zona verde es la cimentación que se va a realizar bajo tierra, la zona amarilla y la zona rosa se van a realizar en la superficie, la diferencia entre ambas es que la amarilla es cimentación, en cambio la rosa es material de relleno.

Se diferencian estos tres escenarios porque en los cálculos van a afectar. En primer lugar, existe una presión P1 ejercida desde el centro de gravedad del conjunto de zona amarilla y rosa, hay otra presión P2 ejercida desde el centro de gravedad de la zona verde y por



último para simplificar los cálculos se considerará otra presión P3 que será la que ejerza el agua del embalse sobre este, simplificando la pared en la que ejerce esa presión como si fuese una pared vertical.

Se dispone de los siguientes datos para la realización de los cálculos:

- Densidad de las tierras compactadas: 1,9 Kg/cm<sup>3</sup>.
- Densidad del ciclópeo: 2,4 Kg/cm<sup>3</sup>.
- Área de la zona rosa: 751,366 m<sup>2</sup>.
- Área de la zona verde: 630,786 m<sup>2</sup>.
- Área de la zona amarilla: 1.166,387 m<sup>2</sup>.

La condición para que no se produzca el vuelco de la presa es que:

$$P3 < P2 + P1$$

$$P1 = S \times \rho \times L$$

$$P2 = S \times \rho \times L$$

$$P3 = ((\gamma \times H) \times h) \times \frac{1}{2} \times L$$

Donde S es la sección (m<sup>2</sup>), H es la altura en vertical de la zona afectada por el agua de la presa (m), h es la altura de la parte afectada por el agua de la presa sabiendo que la pared forma un ángulo con la horizontal de 63° (m),  $\gamma$  es la densidad por la gravedad (N/m<sup>3</sup>),  $\rho$  es la densidad (Kg/m<sup>3</sup>) y L la longitud, que se simplifica tomando como diferencial 1 metro.

$$h = 45/\text{sen}63^\circ = 50,50 \text{ m.}$$

$$P3 = 50,50\text{m} \times 1\text{m} \times (45\text{m} \times 9800\text{N/m}^3) \times 1/2 = 11.135.250 \text{ N}$$

$$P1 = (1,9 \times 10^6 \text{ Kg/m}^3 \times 751,366 \text{ m}^2) + (2,4 \times 10^6 \text{ Kg/m}^3 \times 1166,387 \text{ m}^2) = 4.226.924.200 \text{ N}$$

$$P2 = 630,786 \text{ m}^2 \times 2,4 \times 10^6 \text{ Kg/m}^3 = 1.513.886.400 \text{ N}$$

Para la obtención del cálculo de momento necesitamos P3, P2 y P1, ya que los tres pesos van a afectar al momento de vuelco en el punto crítico representado por el punto naranja en la figura 5-2.

Luego, la distancia del centro de gravedad de la presa hasta el punto de vuelco es de 12,5 metros. La distancia desde el punto donde ejerce la fuerza el agua embalsada hasta el punto del momento de vuelco es de 15 metros.

$$P3 \times 15 \text{ metros} = 167.028.750 \text{ Nm}$$

$$P1 \times 12,5 \text{ metros} = 52.836.552.500 \text{ Nm}$$

$$P2 \times 12,5 \text{ metros} = 18.923.580.000 \text{ Nm}$$

Los momentos calculados anteriormente nos aportan información esencial para la construcción de la presa, según esos cálculos la presa resistirá la fuerza que ejerza el agua sobre ella sin producirse un momento de vuelco, que pueda provocar algún daño en la estructura.

Con un factor de seguridad (FS) =  $\frac{\text{fuerzas estabilizadoras}}{\text{fuerzas desestabilizadoras}}$

$$FS = \frac{P2 \times \text{brazo} + P1 \times \text{brazo}}{P3 \times \text{brazo}} = \frac{52.836.552.500 + 18.923.580.000}{167.028.750} = 429,627$$

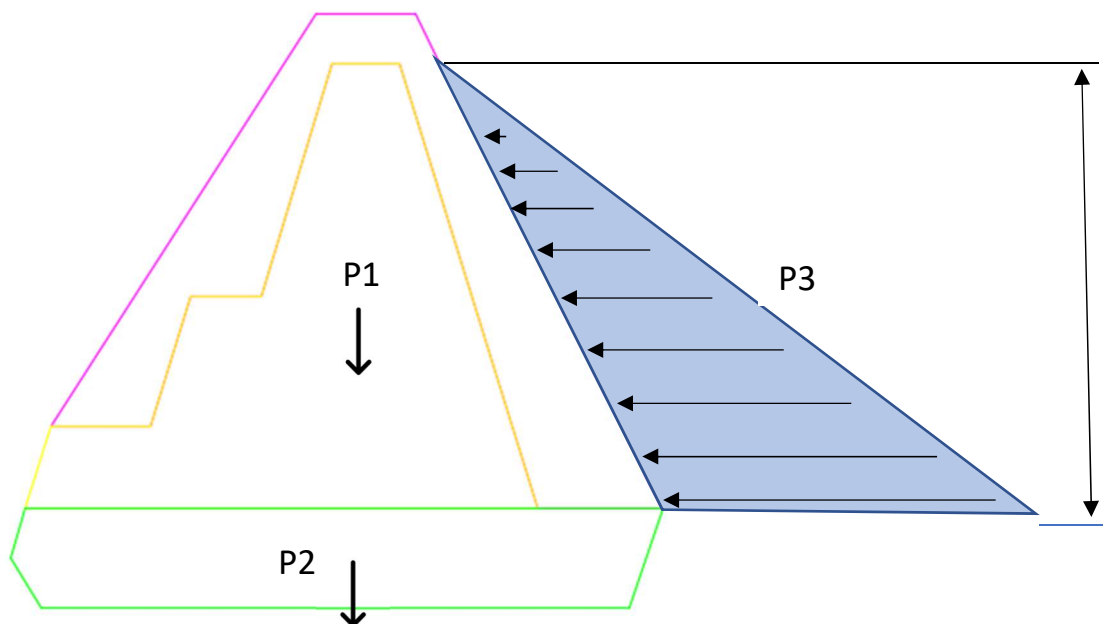
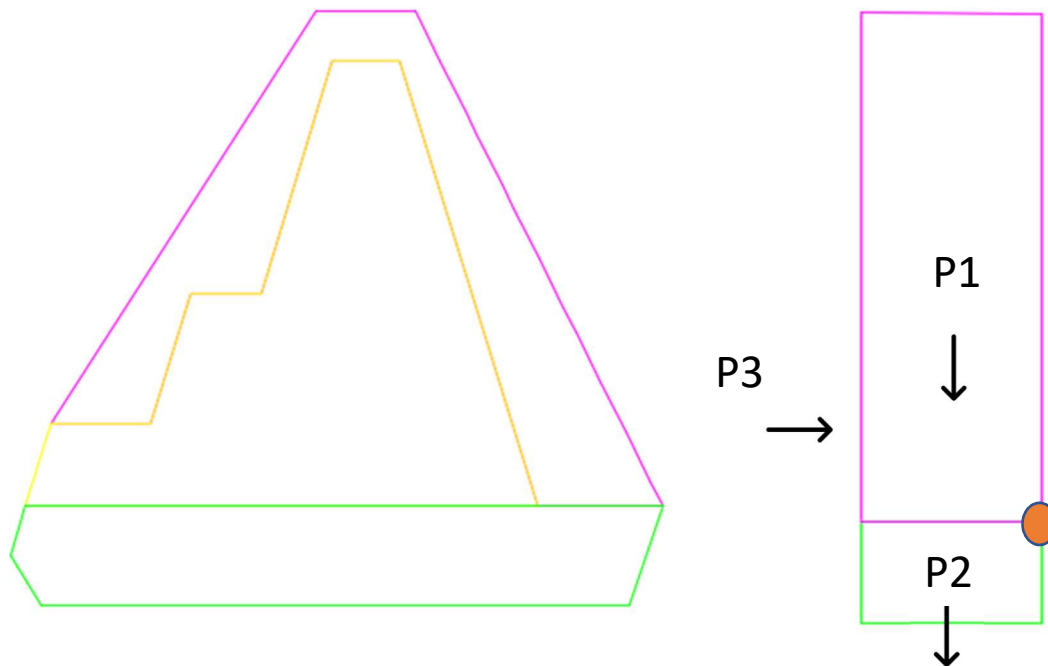


Figura 5-1: Representación de la presión ejercida por el agua de la presa sobre la pared de ésta.





*Figura 5-2: Sección transversal de la presa del estudio.*

#### 5.3.4. Cálculo de volúmenes para la realización de la presa.

Para la realización de este estudio se han utilizado mapas que pone a disposición del ciudadano el Gobierno de Cantabria. Se han empleado ficheros de extensión .dwg, para el diseño de la presa en CivilCad.

Una vez ubicada la zona de estudio, se realizaron varias medidas volumétricas de la cuenca, que consisten en un diseño sucesivo del embalse en base a diferentes ubicaciones de la presa, situándola cada vez en un lugar distinto, dentro de la misma cuenca, para obtener así la opción que más volumen de agua nos permitiese almacenar.

En las siguientes tablas se muestran los resultados que se obtuvieron, la primera de ellas corresponde a la primera ubicación en la que se estudió colocar la presa, la segunda corresponde a la segunda ubicación estudiada y la tercera tabla corresponde a la ubicación elegida para el establecimiento de la presa. Observando los resultados volumétricos obtenidos, se aprecia un mayor volumen en la tercera opción.



Tabla 5-1: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa I de la presa.

	SUPERFICIE CURVA DE NIVEL (m <sup>2</sup> )	DISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL (m)	VOLUMEN ENTRE CURVAS DE NIVEL (m <sup>3</sup> )
SUPERFICIE 1	6300,101	-	-
SUPERFICIE 2	5530,865	5	29577,415
SUPERFICIE 3	4819,030	5	25874,738
SUPERFICIE 4	3767,610	5	21466,600
SUPERFICIE 5	2857,420	5	16562,575
SUPERFICIE 6	2179,960	5	12593,450
SUPERFICIE 7	1600,580	5	9451,350
SUPERFICIE 8	943,590	5	6360,425
SUPERFICIE 9	477,550	5	3552,850
SUPERFICIE 10	143,110	5	1551,650
		<b>TOTAL</b>	126.991,053

Tabla 5-2: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa II de la presa.

	SUPERFICIE CURVA DE NIVEL (m <sup>2</sup> )	DISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL (m)	VOLUMEN ENTRE CURVAS DE NIVEL (m <sup>3</sup> )
SUPERFICIE 1	5112,290	-	-
SUPERFICIE 2	4544,563	5	24142,133
SUPERFICIE 3	3800,000	5	20861,408
SUPERFICIE 4	3337,080	5	17842,700
SUPERFICIE 5	2825,860	5	15407,350
SUPERFICIE 6	2357,130	5	12957,475
SUPERFICIE 7	1996,140	5	10883,175
SUPERFICIE 8	1670,000	5	9165,350



<b>SUPERFICIE 9</b>	1342,230	5	7530,575
<b>SUPERFICIE 10</b>	1053,910	5	5990,350
<b>TOTAL</b>			124.780,515

Tabla 5-3: Cálculo volumétrico de la ubicación alternativa III de la presa.

	<b>SUPERFICIE CURVA DE NIVEL (m<sup>2</sup>)</b>	<b>DISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL (m)</b>	<b>VOLUMEN ENTRE CURVAS DE NIVEL (m<sup>3</sup>)</b>
<b>SUPERFICIE 1</b>	19865,743	-	-
<b>SUPERFICIE 2</b>	16430,079	5	90739,555
<b>SUPERFICIE 3</b>	13867,960	5	75745,098
<b>SUPERFICIE 4</b>	11213,790	5	62704,375
<b>SUPERFICIE 5</b>	9060,460	5	50685,625
<b>SUPERFICIE 6</b>	6646,170	5	39266,575
<b>SUPERFICIE 7</b>	3582,760	5	25572,325
<b>SUPERFICIE 8</b>	1974,030	5	13891,975
<b>SUPERFICIE 9</b>	883,540	5	7143,925
<b>SUPERFICIE 10</b>	54,980	5	2346,300
<b>TOTAL</b>			368.095,753

A la vista de los resultados obtenidos en los cálculos volumétricos anteriores, el lugar elegido para la situación de la presa estudio es la ubicación III, con una volumetría inicial de 368.095,753 m<sup>3</sup>.

Antes de realizar cualquier modificación en el terreno del área de estudio, se procede al cálculo de la pendiente del mismo:



Para calcular la pendiente media de la cuenca donde vamos a realizar el estudio es necesario conocer la cota del punto más alto y la cota del punto más bajo de la cuenca y además la longitud del cauce principal. Así:

$$S = (H_{\text{máx}} - H_{\text{min}})/L$$

Donde  $H_{\text{máx}}$  es el punto más alto de la cuenca,  $H_{\text{min}}$  el punto más bajo de la cuenca y  $L$  la longitud del cauce principal. Aplicando nuestros datos en la fórmula obtenemos:

$$S = (1120-1000) / 362.221 = 0,3312$$

Luego la cuenca, previa a cualquier tipo de modificación de origen antrópico, tiene una pendiente del 33,12%

Una vez ya conocida la ubicación definitiva de la presa, se procede al diseño pormenorizado de la misma, y de la cuenca donde se va a almacenar el agua. Para ello se hace un estudio del volumen de tierras que se van a desmontar y del que se va a tener que terraplenar, todo ello se hace mediante perfiles longitudinales y transversales de la presa y de la cuenca.

A continuación, se muestran dos perfiles, el primero de ellos representa tanto el terreno original como la presa y la cuenca, el segundo únicamente representa el terreno con la obra de la presa ya realizada.

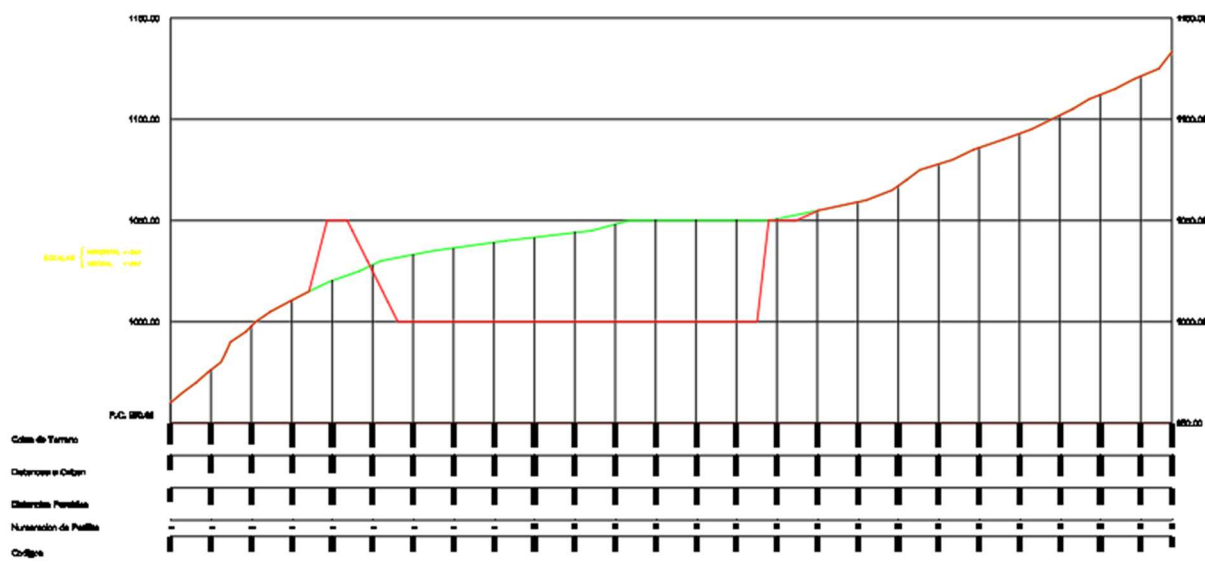


Figura 5-3: Perfil longitudinal del terreno topográfico original.

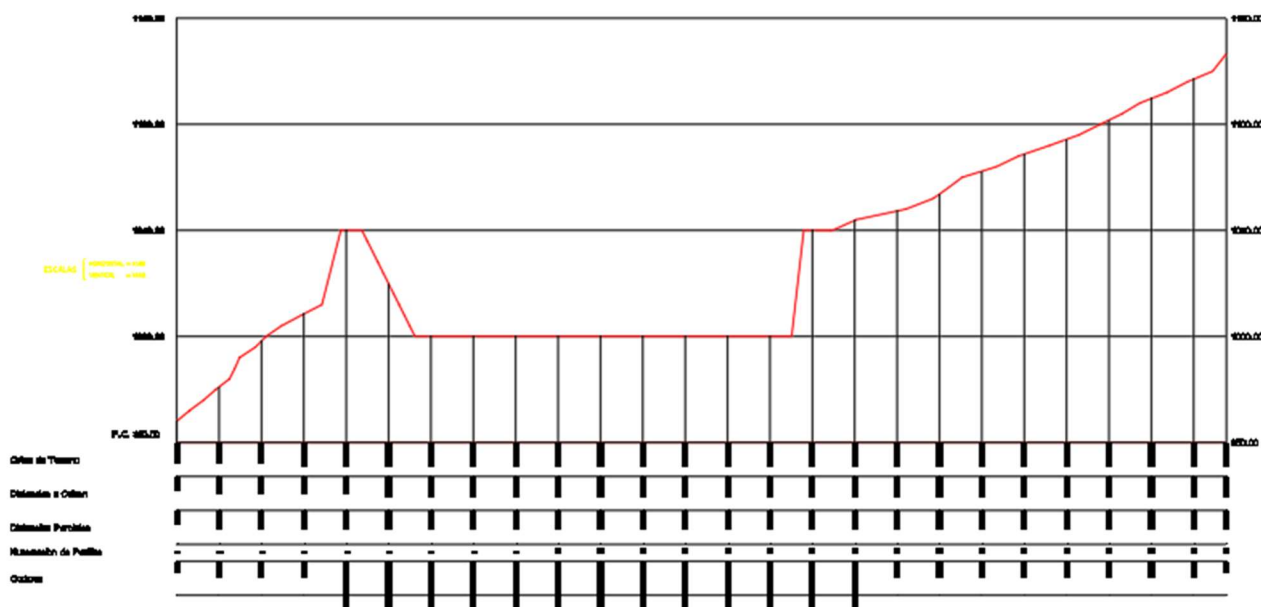


Figura 5-4: Perfil longitudinal del terreno topográfico con la presa incluida.



Los datos que se observan a continuación reflejados en la siguiente tabla, representan tanto el volumen de terraplenado como el de desmorte que se van a tener que llevar a cabo para realización de la presa y del embalse que contenga el agua. Estos datos se han obtenido al comparar directamente y de manera sistemática todos los perfiles que se han obtenido de las alineaciones.

Tabla 5-4: Cubicación de la zona de estudio para la realización de la presa.

	<b>SUPERFICIE DESMORTE</b> (m <sup>2</sup> )	<b>SUPERFICIE TERRAPLÉN</b> (m <sup>2</sup> )	<b>DISTANCIA PERFORACIÓN</b> (m)	<b>VOLUMEN DESMORTE</b> (m <sup>3</sup> )
<b>PK 0+00</b>	626,820	299,300		
			10,00	5856,995
<b>PK 10+00</b>	544,580	356,010		5856,995
			10,00	8923,700
<b>PK 20+00</b>	1240,160	421,290		14780,696
			10,00	11055,329
<b>PK 30+00</b>	970,910	620,390		25836,024
			10,00	11776,408
<b>PK 40+00</b>	1384,380	934,580		37612,433
			10,00	15730,790
<b>PK 50+00</b>	1761,780	951,790		53343,223
			10,00	20750,789
<b>PK 60+00</b>	2388,380	1285,090		74094,012
			10,00	26810,268
<b>PK 70+00</b>	2973,680	2292,410		100904,280
			10,00	35690,527
<b>PK 80+00</b>	4164,430	3810,870		136594,807
			10,00	51058,470
<b>PK 90+00</b>	6047,270	1866,470		187653,277
			10,00	73023,813





PK 100+00	8557,500	303,010		260677,090
			10,00	96260,100
PK 110+00	10694,520	309,620		356937,190
			10,00	107700,328
PK 120+00	10845,540	2,910		464637,518
			10,00	108869,084
PK 130+00	10928,270	12,260		573506,602
			10,00	109380,633
PK 140+00	10947,850	157,690		682887,235
			10,00	108662,714
PK 150+00	10784,690	5,010		791549,949
			10,00	108224,894
PK 160+00	10860,290	3,100		899774,842
			10,00	107371,581
PK 170+00	10614,030	5,960		1007146,423
			10,00	104903,049
PK 180+00	10366,580	72,260		1112049,473
			10,00	101540,871
PK 190+00	9941,590	37,880		1213590,344
			10,00	98052,314
PK 200+00	9668,870	104,720		1311642,657
			10,00	95134,880
PK 210+00	9358,110	88,710		1406777,537
			10,00	92239,665
PK 220+00	9089,830	53,530		1499017,202
			10,00	89075,708
PK 230+00	8725,310	35,690		1588092,910
			10,00	85035,236



PK 240+00	8281,730	38,660		1673128,147
			10,00	80523,061
PK 250+00	7822,880	14,190		1753651,208
			10,00	76392,104
PK 260+00	7455,540	18,490		1830043,311
			10,00	74242,384
PK 270+00	7392,940	10,730		1904285,695
			10,00	70354,728
PK 280+00	6678,010	7,010		1974640,424
			10,00	62532,687
PK 290+00	5828,530	7,650		2037173,111
			10,00	42428,164
PK 300+00	2657,110	8,440		2079601,274
			10,00	25200,190
PK 310+00	2382,930	15,390		2104801,465
			10,00	21061,326
PK 320+00	1829,330	23,660		2125862,791
			10,00	13100,213
PK 330+00	790,710	31,210		2138963,004
			10,00	4582,675
PK 340+00	125,820	39,250		2143545,679
			10,00	1095,162
PK 350+00	93,210	38,690		2144640,841
			10,00	823,250
PK 360+00	71,440	31,540		2145464,091
			10,00	405,363
PK 370+00	9,630	228,730		2145869,454
			10,00	371,500



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA  
ESCUELA POLITÉCNICA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS



PK 380+00	64,670	175,130		2146240,954
			10,00	708,425
PK 390+00	77,020	28,820		2146949,379
			10,00	673,400
PK 400+00	57,670	24,490		2147622,779
			10,00	558,513
PK 410+00	54,040	44,670		2148181,291
			10,00	540,300
PK 420+00	54,020	29,360		2148721,591
			10,00	497,825
PK 430+00	45,540	82,600		2149219,416
			10,00	318,950
PK 440+00	18,250	445,770		2149538,366
			10,00	144,500
PK 450+00	10,650	173,940		2149682,866
			10,00	133,200
PK 460+00	15,990	58,520		2149816,066
			10,00	1002,275
PK 470+00	184,470	64,250		2150818,341
			10,00	1005,500
PK 480+00	16,630	102,080		2151823,841
			10,00	198,973
PK 490+00	23,160	73,660		2152022,814
			5,43	75,985
PK 495+43	4,820	94,010		2152098,800
TOTALES	215532,110	15941,490	TOTALES	2.152.098,800



Una vez conocidos los valores volumétricos generales tanto al desmante como al terraplén, se hace a continuación una clasificación más exhaustiva del material que va a ser terraplenado, puesto que la parte de relleno en la obra es la presa en sí, se separan a continuación los volúmenes para el terraplenado de la cimentación y del relleno de la presa.

Tabla 5-5: Cálculo de volumen para la cimentación de la presa.

	ÁREA CIMENTACIÓN (m <sup>2</sup> )	DISTANCIA A PK ANTERIOR	VOLUMEN CIMENTACIÓN (m <sup>3</sup> )
PK 0+00	0	0,00	
PK 20+00	0	20,00	0
PK 40+00	0	20,00	0
PK 60+00	0	20,00	0
PK 80+00	0	20,00	0
PK 100+00	1789,435	20,00	17894,350
PK 106+27	1791,39	6,27	11225,886
PK 120+00	1790,328	13,73	24588,494
PK 140+00	1797,583	20,00	35879,110
PK 145+59	1797,583	5,59	10048,489
PK 160+00	1797,583	14,41	25903,171
PK 180+00	1797,583	20,00	35951,660
PK 193+44	1797,583	13,44	24159,516
PK 200+00	1797,583	6,56	11792,144
PK 220+00	1797,583	20,00	35951,660
PK 223+93	1797,583	3,93	7064,501
PK 240+00	1797,583	16,07	28887,159
PK 253+04	1797,583	13,04	23440,482
PK 260+00	1797,583	6,96	12511,178
PK 280+00	1797,583	20,00	35951,660
PK 291+64	1797,583	11,64	20923,866
PK 300+00	1797,583	8,36	15027,794
PK 320+00	1797,583	20,00	35951,660
PK 320+07	1797,583	0,07	125,831
PK 340+00	1797,583	19,93	35825,829
PK 360+00	1797,583	20,00	35951,660
PK 380+00	1788,88	20,00	35864,630
PK 400+00	0	20,00	17888,800
PK 420+00	0	20,00	0



PK 440+00	0	20,00	0
PK 449,92	0	9,92	0
		<b>TOTAL</b>	538.809,530

Tabla 5-6: Cálculo de volumen para el relleno de la presa.

	ÁREA RELLENO (m2)	DISTANCIA A PK ANTERIOR	VOLUMEN RELLENO (m3)
PK 0+00	0	0,00	
PK 20+00	0	20,00	0
PK 40+00	0	20,00	0
PK 60+00	0	20,00	0
PK 80+00	0	20,00	0
PK 100+00	746,824	20,00	7468,240
PK 106+27	748,815	6,27	4688,828
PK 120+00	747,126	13,73	10269,635
PK 140+00	751,986	20,00	14991,120
PK 145+59	753,597	5,59	4208,104
PK 160+00	751,372	14,41	10843,302
PK 180+00	751,471	20,00	15028,430
PK 193+44	753,270	13,44	10111,860
PK 200+00	751,558	6,56	4935,836
PK 220+00	751,34	20,00	15028,980
PK 223+93	754,032	3,93	2958,056
PK 240+00	751,812	16,07	12099,457
PK 253+04	762,384	13,04	9872,558
PK 260+00	751,559	6,96	5268,522
PK 280+00	748,905	20,00	15004,640



PK 291+64	751,818	11,64	8734,208
PK 300+00	747,689	8,36	6267,939
PK 320+00	751,854	20,00	14995,430
PK 320+07	756,993	0,07	52,810
PK 340+00	750,693	19,93	15024,091
PK 360+00	752,053	20,00	15027,460
PK 380+00	747,107	20,00	14991,600
PK 400+00	0	20,00	7471,070
PK 420+00	0	20,00	0
PK 440+00	0	20,00	0
PK 449,92	0	9,92	0
		<b>TOTAL</b>	225.342,175

El diseño final de la presa estudio es el que se refleja a continuación.

- La presa es de materiales sueltos, con un núcleo de ciclópeo y con refuerzos en la parte delantera.
- La presa se ha realizado entre las cotas 1000 y 1050 (50 metros de altura), pero como se puede apreciar en la imagen, en cotas superiores a 1050, se han colocado cada 10 metros unas superficies escalonadas que suavizan el terreno que se encuentra a cota superior al de la presa, suavizando su pendiente.
- El ancho de coronación de la presa es de 10 metros. Estos 10 metros se aprovechan en su totalidad para la realización de dos carriles de circulación, uno para cada sentido de 3,5 metros cada uno, dos aceras, una a cada lado de la presa, ambas con una anchura de 1 metro, y para finalizar, dos barandillas que vana a ocupar los 0,5 metros restantes a cada lado de la presa.
- La presa se ha diseñado conforme a dos pendientes distintas de talud. Por su lado interno, la presa tiene una pendiente de talud de 2:1, mientras que, en la

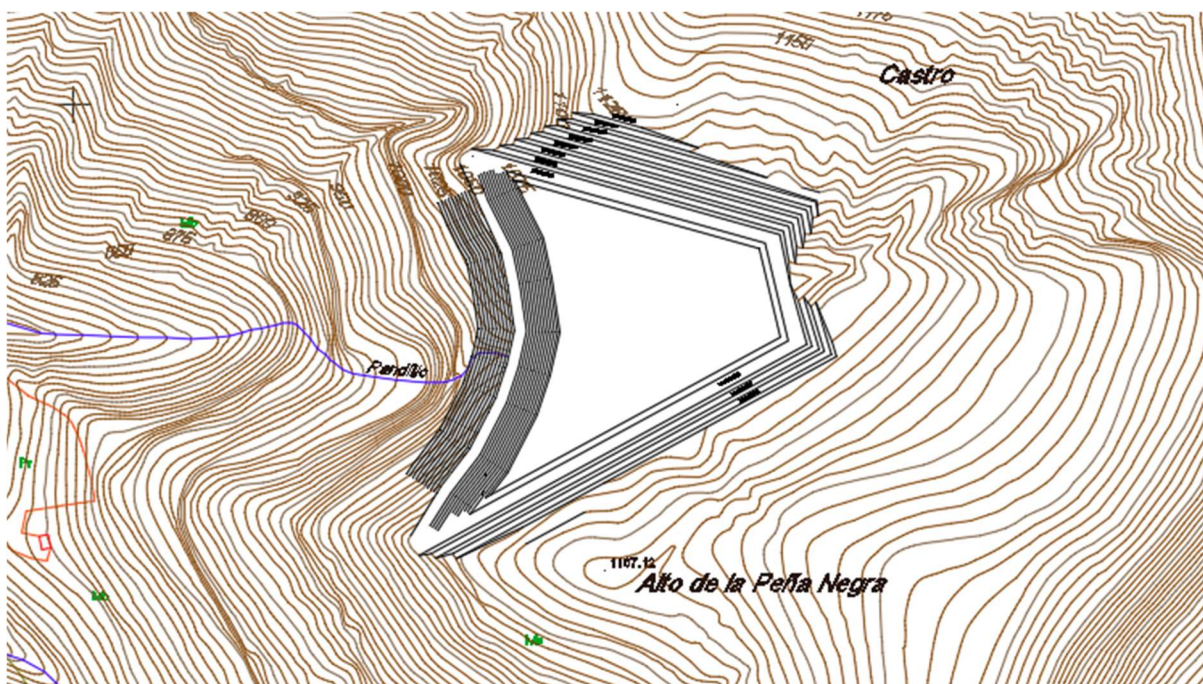


parte externa, debido a una mayor inclinación del terreno, la pendiente del talud es de 3:1.

- Las obras auxiliares que se han llevado a cabo son las galerías de evacuación, con una altura de 1,8 metros y que se van a situar tanto por la parte interna como por la parte externa de la presa, a la altura de los cimientos. Por otro lado, también se incluyen los mechinales, que son las tuberías que atraviesan de lado a lado la presa y sirven para desaguar, se sitúan cada 20 metros aproximadamente.



*Figura 5-5: Vista en planta de la zona de estudio sin modificar.*



*Figura 5-6: Vista en planta de la presa estudio.*

Teniendo en cuenta los datos relativos a aportes pluviométricos recogidos en apartados anteriores, considerando que se puede conocer la precipitación neta que se produce en la estación meteorológica más cercana a la Vega de Pas, la estación de Santander (Aeropuerto), ofrece unos valores de 1.129 mm/año, y si además se considera que la superficie de la presa que va a delimitar esa lluvia es de 40.895,018 m<sup>2</sup>, con una superficie propia de la cuenca de aportación del arroyo de 178.903,962 m<sup>2</sup>, incluyendo la superficie de la presa anteriormente delimitada. Considerando que la capacidad volumétrica de la presa 1,766 Hm<sup>3</sup>, es posible calcular el tiempo que tarda en llenarse la presa. Conviene señalar que, dadas las acciones modeladoras previstas para la ejecución de la presa, se desestimará la acción asociada a la evapotranspiración, o la interacción del complejo suelo-vegetación, considerando que la totalidad de las precipitaciones aportadas resultan caudal aprovechable para el relleno de la presa. Considerando que no se produzca ninguna extracción de agua, la presa tardaría en llenarse 8 años.





Según el INE (Instituto Nacional de Estadística), el consumo medio de agua de los hogares españoles en 2012 ascendía a 137 litros por habitante y día, por lo que podríamos concluir que el agua almacenada en la presa, considerando únicamente que su uso fuese exclusivo para el consumo de los habitantes de los municipios de la Vega de Pas (1000 habitantes), les proporcionaría un abastecimiento durante 36 años.

#### 5.3.5. Cálculo de voladuras.

Tal y como se recogió anteriormente en el análisis del estado del arte en materia de voladuras, la obra planteada presenta necesidades particulares para la remoción de roca, así como la obtención de granulometrías concretas, que condicionarán por un lado la aplicación de pasos de trituración sobre todo uno obtenido a partir de las voladuras de producción en banco, y por otro la necesidad de contar con diseños destinados a la obtención de granulometrías clasificables como escollera. Es por ello, por lo que se recurre al dimensionamiento de tres tipologías fundamentales de voladuras. Las dos primeras plantean el trabajo en base a bancos verticales (Voladura TIPO I) o con inclinación con respecto a la vertical de  $14^\circ$  (Voladura TIPO II), en función de las geometrías finales requeridas. Por otro lado, y trabajando al igual que en el caso de las dos voladuras anteriormente señaladas, con diámetro de 89 mm y altura de banco de 10 metros, se diseña una voladura en trinchera (Voladura TIPO III); destinada a generar la segunda superficie libre o talud requerido para obtener una adecuada fragmentación de los materiales a través del rebote de las ondas de choque, potenciando los fenómenos tracto-compresivos, y posibilitar la salida de los materiales. Por último, se diseña la voladura de escollera (Voladura TIPO IV) destinada a la obtención de materiales de granulometrías superiores, a aplicar en el núcleo central de la presa.



### *VOLADURA TIPO I*

HB = 10 m

Banco vertical  $\varnothing_B = 89$  mm

Fondo -> emulsión.

Columna -> ANFO

Las consideraciones aplicadas se consideran válidas para roca caliza o arenisca, con un factor de roca de 0,3.

Se procede a la determinación precisa de la densidad aparente en fondo,  $\rho_F$ , en base a la relación de diámetros de barreno y cartucho  $\varnothing_B - \varnothing_C$

$\varnothing_B = 89$  mm  $\rightarrow$  65 mm  $\varnothing_{\text{CARTUCHO}}$  (Se adopta un cartucho que ofrece una diferencia de diámetro con respecto al barreno de 24 mm. Dicha diferencia es superior a los 20 mm, e inferior a los 27, por lo que se considera aceptable. Se conseguirá de esta manera minimizar los posibles efectos asociados al eventual acúñamiento de cartuchos.)

Debe señalarse igualmente que se obvia el efecto del ANFO que puede escurrir al fondo.

Se admite acortamiento del 5% del cartucho como efecto del achatamiento. (Riomex)

$$\rho_{\text{FONDO}} = \frac{2083 \text{ gr}}{\pi \times \frac{(8,9)^2}{4} \times 0,95 \times (53,5 \text{ cm})} = 0,66 \text{ gr/cm}^3$$

se hace necesario recurrir a la interpolación para poder determinar el grado de fijación más adecuado (f).

f  $\rightarrow$  para el caso de 76° respecto la horizontal.

$$\beta = 180 - 76 - 90 = 14^\circ$$

$$\text{para } \beta = 0 \rightarrow f = 1$$

$$\text{para } \beta = 18,43^\circ \rightarrow f = 0,9$$

$$\text{para } \beta = 26,56^\circ \rightarrow f = 0,85$$



$$f = \frac{(1-0,9)}{(18,43-)} \times (14^0) \quad f = 1 - 7,59 \times 10^{-2} = 0,92$$

Habiendo adoptado las hipótesis iniciales anteriormente señaladas, y adoptando los parámetros mencionados, es posible determinar los parámetros geométricos y de carga por aplicación directa de la metodología de Langefors-Kihlström, siguiendo el orden siguiente: piedra (V), piedra práctica (Vp), espaciamiento E, longitud de barreno (Lb), longitud de fondo (Lf), número de cartuchos y masa total de carga de fondo, longitud de columna, carga de columna y carga total, para finalmente determinar parámetros de rendimiento como el consumo específico y el rendimiento de la perforación.

$$V = \frac{89}{33} \sqrt{\frac{0,66 \times 0,90}{0,3 \times 0,92 \times 1,25}} = 3,53 \text{ m}$$

$$Vp = 0,9 \times 3,53 = 3,177 \text{ m}$$

$$E = 3,177 \times 1,25 = 3,97 \text{ m}$$

$$Lb = \frac{10}{\cos(14^0)} + 0,3 \times 3,177 = 11,25 \text{ m}$$

$$Lf = 1,3 \times Vp = 1,3 \times 3,177 = 4,13 \text{ m}$$

$$\text{Taco} = 3,177 \text{ m}$$

$$L_{\text{COLUMNA}} = 11,25 \text{ m} - 3,177 \text{ m} - 4,13 \text{ m} = 3,94 \text{ m}$$

Nº de cartuchos =  $\frac{413 \text{ cm}}{53,5 \text{ cm}} = 7,74$  cartuchos → dada la característica de roca media, y la reducida altura de banco se opta por 7 cartuchos.

$$Q_f = 7 \times 2083 \text{ gr} = 14,581 \text{ Kg de explosivo.}$$

$$L' = 7 \times 53,5 \text{ cm} = 3,74 \text{ m}$$

$$\text{Luego } Lc' = 11,25 - 3,74 - 3,177 = 4,33 \text{ m}$$

$$Q_c = 0,8 \times \pi \times \frac{(8,9)^2}{4} \times 433 \text{ cm} = 21,550 \text{ Kg} = 21550 \text{ gr}$$

$$Q_T = 14,581 + 21,550 = 36,131 \text{ Kg de explosivo.}$$

$$CE = \frac{36,131 \text{ Kg}}{3,18 \times 3,97 \times 10} = 0,29 \text{ Kg/m}^3$$

$$R_{\text{To perf}} = \frac{3,18 \times 3,97 \times 10}{11,25} = 11,22 \text{ m}^3/\text{m}.$$

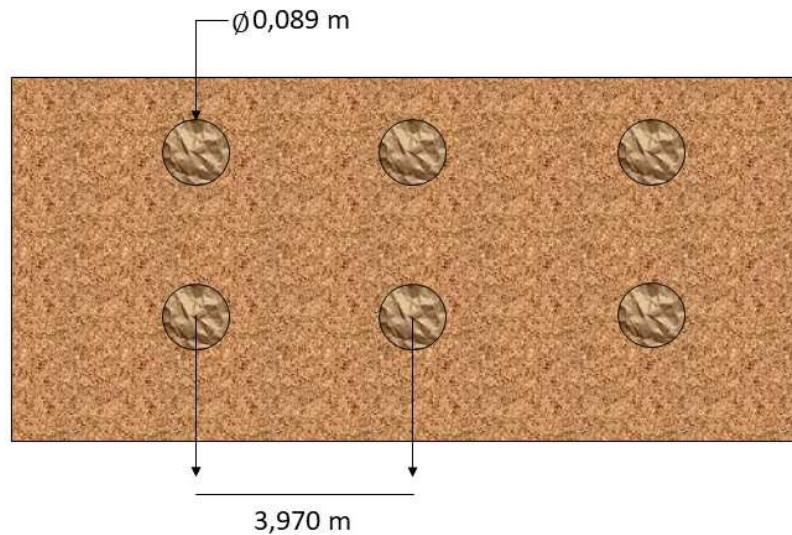


Figura 5-7: Esquema de un detalle de la voladura en banco. El número total de barrenos y filas debería limitarse en base al volumen total de producción deseado.

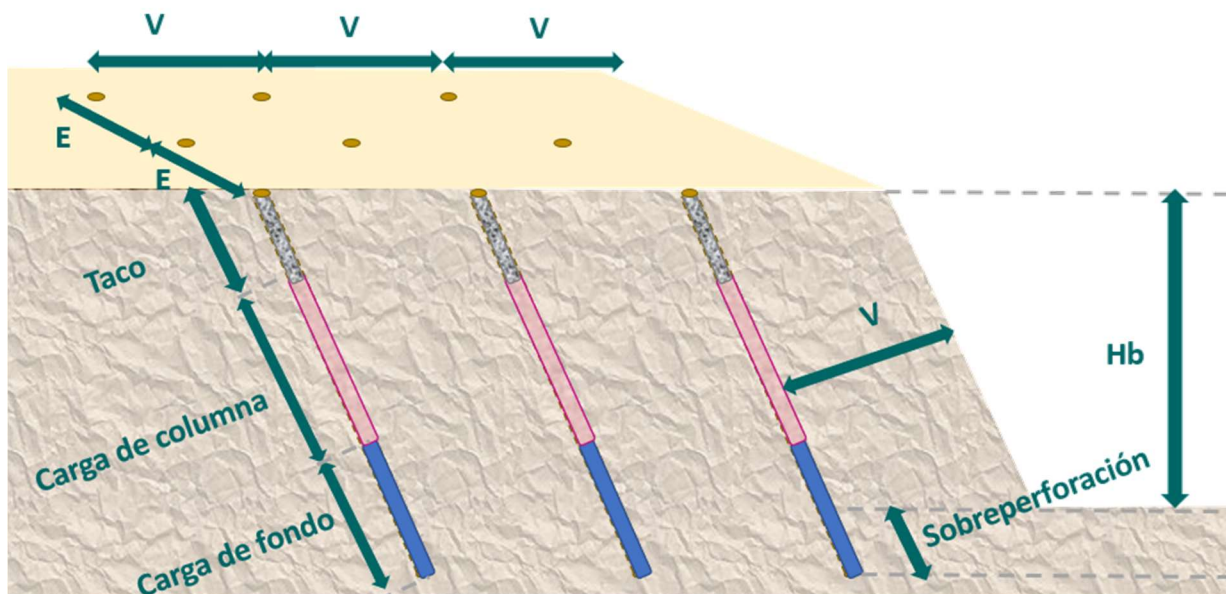


Figura 5-8: Principales parámetros geométricos de las voladuras en banco. Fuente: Pérez Álvarez, 2018. Apuntes de la asignatura "Laboreo I". Adaptado de: López Jimeno et al. 2003. "Manual de Perforación y Voladura de Rocas".





### *VOLADURA TIPO II*

Caso de barrenos verticales. Se adopta como base para el cálculo los parámetros de densidad aparente en fondo obtenidos a partir de la Voladura TIPO I, calculándose las siguientes variables de diseño.

$$V_p = 3,18$$

$$E = 3,97$$

$$H_B = 10$$

$$L_B = 10 + 0,3 \times 3,18 = 10,954 \text{ m}$$

$$L_f' = 3,74 \text{ m}$$

$$Q_f = 14,581 \text{ Kg de explosivo}$$

$$L_{c'} = 10,95 - 3,74 - 3,18 = 4,03 \text{ m}$$

$$Q_c = 0,8 \times \pi \times \frac{(8,9)^2}{4} \times 403 = 20056,99 \text{ gr} = 20,06 \text{ Kg}$$

$$Q_T = 14,581 + 20,06 = 34,641 \text{ Kg}$$

$$CE = \frac{34,641}{3,18 \times 3,97 \times 10} = 0,27 \text{ Kg m}^3$$

$$R_{TO \text{ perf}} = \frac{V_{\text{barreno}}}{10,954} = 11,52 \text{ m}^3/\text{m}$$

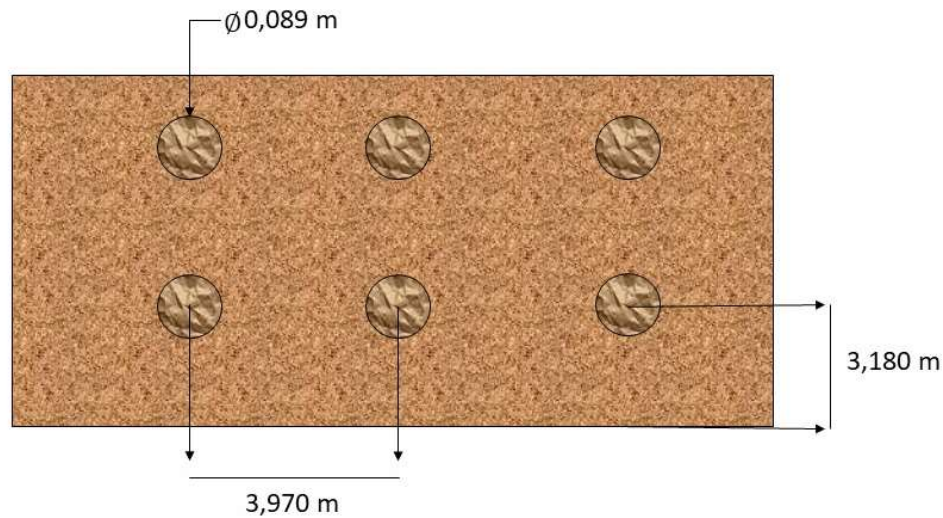


Figura 5-9: Voladura con barrenos verticales. Diámetro del barreno 0,089 m; Espaciamiento 3,97 m; Piedra práctica: 3,18 m.

### *VOLADURA TIPO III: VOLADURA EN TRINCHERA DE BANCOS VERTICALES.*

Siguiendo las recomendaciones que el Dr. Carlos López Jimeno recoge en su obra “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”, para este tipo de voladuras se adopta un valor de K, tal que  $39 < K < 33$ . Al ser roca media,  $K = 36$ .

$$B = K \times D = 36 \times 89 \text{ mm} = 3,204 \text{ m (3204 mm)}$$

$$E = 1,2 \times B = 1,2 \times 3,204 = 3,84 \text{ m}$$

$$S_p = 10 \times D = 10 \times 89 \text{ mm} = 0,89 \text{ m}$$

El consumo específico debe ser aproximadamente  $0,5 \text{ Kg/m}^3$

$$\text{Taco} \rightarrow B = 3204 \text{ mm}$$

Supongo cargado con emulsión

$$L_c = 10 - 3,204 + 0,89 = 7,68 \text{ m}$$

$$\text{Carga} = \frac{7,68 \text{ m}}{0,535 \text{ m/cartucho}} = 14,35 \text{ cartuchos}$$

$$\text{Carga} = 14,35 \times 2083 \text{ gr} = 29,162 \text{ Kg}$$

$$V_B \text{ arrancado} = 3,20 \text{ m} \times 3,84 \text{ m} \times 10 = 122,88 \text{ m}^3$$

$$CE = \frac{29,162}{122,83} = 0,24 \text{ Kg/m}^3$$

Conviene señalar que el valor de consumo específico es relativamente bajo con respecto a las recomendaciones del autor, se opta por analizar si la aplicación de goma como carga en lugar de emulsión mejoraría los resultados esperables.



Figura 5-10: Estructura de los barrenos en la voladura. El barreno central tiene una inclinación de 90°, los siguientes barrenos siguen con una inclinación de 30°, 45°, 65° y 80° relativamente. Elaboración propia.

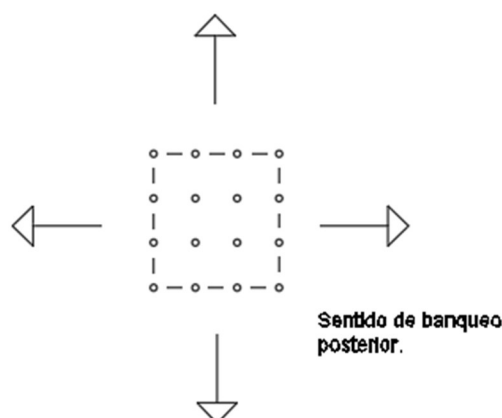


Figura 5-11: Esquema de voladura en trinchera para apertura de hueco inicial. Diámetro del barreno 0,89 m; Espaciamiento 3,97 m; Piedra práctica: 3,18 m. (Se aconseja iniciación en espiral de los barrenos, de la parte central de la voladura a los extremos)



#### PROPUESTA DE CAMBIO A GOMA (RIODIN)

$$\varnothing_B = 89 \text{ mm} \rightarrow \text{cartucho } \varnothing = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud cartucho achatado} \rightarrow 620 \times 0,9 \text{ (acorta 10\%)} = 558 \text{ mm}$$

$$\text{Masa} = 2500 \text{ gr}$$

$$\rho_F = \frac{2500}{\frac{(8,9)^2 \times 55,8 \times \pi}{4}} = 0,72 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{N}^\circ \text{ cartuchos} = \frac{768 \text{ cm}}{55,8 \text{ cm/cartucho}} = 13,76 \text{ cartuchos} \rightarrow 14 \text{ cartuchos.}$$

$$14 \text{ cartuchos} \times 2500 \text{ gr/cartucho} = 35 \text{ Kg de explosivo}$$

$$\text{CE} = \frac{35 \text{ Kg}}{122,83 \text{ m}^3} = 0,28 \text{ Kg/m}^3$$

A priori la voladura con goma mejoraría ligeramente el CE, pero ese incremento difícilmente justifica el que se varíe el tipo de explosivo, considerando las ventajas que desde el punto de vista de la menor sensibilidad frente a estímulos subsónicos o choque ofrece la emulsión, por lo que se opta por la emulsión.

#### *VOLADURA TIPO IV: ESCOLLERA.*

Siguiendo nuevamente las recomendaciones de López Jimeno, del “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”, en su edición de 2003, debe tenerse en cuenta que se parte de una  $H_B$  demasiado reducida para los fines que se desean (la altura mínima adecuada comenzaría en 15 m, mientras que la altura de diseño es de 10 m).

$$\varnothing_B = 89 \text{ mm}$$

$$B = 40 \times D = 40 \times 89 = 3,56 \text{ m}$$

$$L_f = 55 \times D = 55 \times 89 = 4,90 \text{ m}$$



$$Sp = 10 \times D = 10 \times 89 = 0,890 \text{ m}$$

$$\text{Taco} = 15 \times D = 15 \times 89 = 1,33 \text{ m}$$

B/S entre 1,4 y 1,7 cogeremos 1,6

$$E = 1,6 \times B = 5,70 \text{ m}$$

Luego Lf es 4,90 m

Para dicha longitud de fondo, los cartuchos que van a entrar son  $= \frac{4,90 \text{ m}}{0,535 \text{ m/cartucho}} = 9,15 \text{ cartuchos} \rightarrow 9 \text{ cartuchos.}$

Al trabajar con una altura de banco un 1/3 inferior a lo deseable, se opta por reducir en ese porcentaje la Lf para el caso concreto de la voladura de escombrera, resultando 6 cartuchos. Debe por tanto modificarse la longitud de fondo cargada, tal y como sigue:

$$6 \text{ cartuchos} \times 0,535 \text{ m} = 3,21 \text{ m Lf}$$

$$6 \times 2083 \text{ gr} = 12,498 \text{ Kg}$$

Se acompaña seguidamente el cálculo de la longitud y carga de columna, así como de la carga total.

$$Lc' = L_B - \text{taco} - Lf = 10,89 \text{ m} - 1,33 - 3,21 = 6,35 \text{ m}$$

$$Qc = 635 \text{ cm} \times \frac{(8,9)^2 \times 0,8 \times \pi}{4} = 31,603 \text{ Kg}$$

$$Q_T = 12,498 + 31,603 + 44,101 \text{ Kg}$$

$$\text{CE voladura de escollera} = \frac{44,101 \text{ Kg}}{3,56 \times 5,70 \times 10 \text{ m}^3} = 0,217 \text{ Kg/ m}^3_B$$

Queda ligeramente por debajo con respecto a las recomendaciones de la obra adoptada como referencia ( $0,3 \text{ Kg/m}^3$ ), pero al no haber desacoplado la carga de columna por no existir ningún diámetro de carga de ANFO encartuchado que satisfaga la relación de desacoplamiento de 2, al ser el diámetro comercialmente disponible de 50 mm, se considera que el consumo específico es admisible.

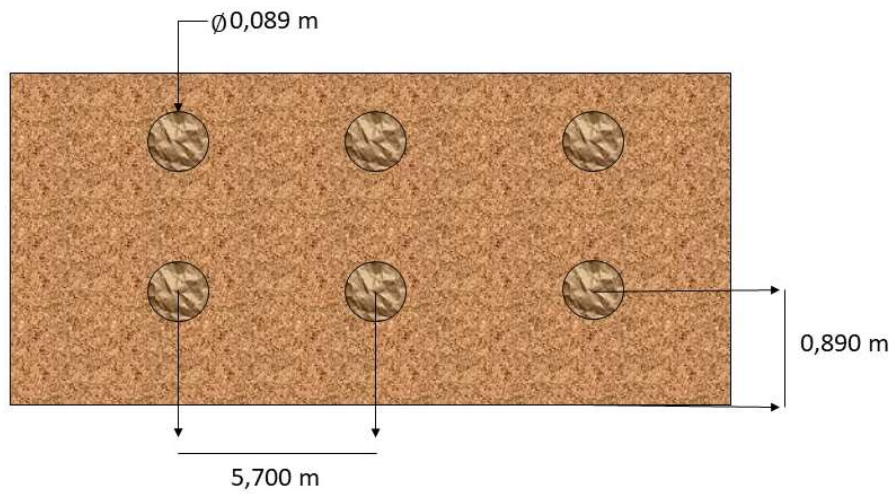


Figura 5-12: Esquema de voladura de escollera. Diámetro del barreno: 0,89 m; espaciamiento: 5,7 m; Piedra práctica: 0,89 m.

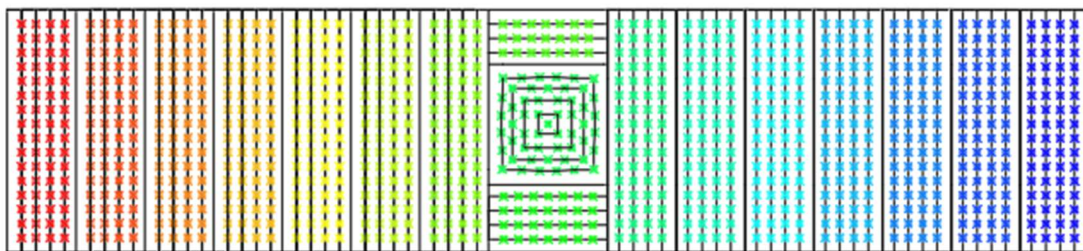
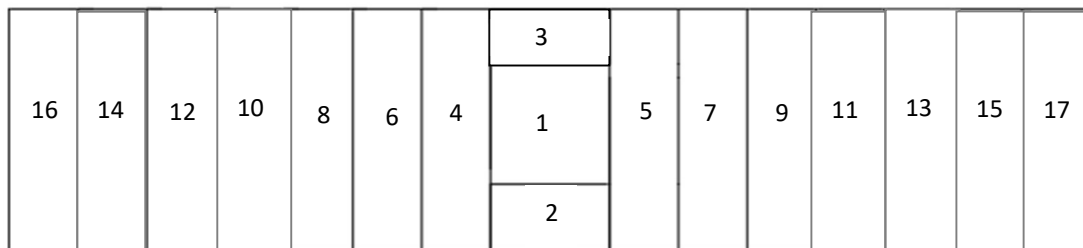


Figura 5-13: Secuenciación de las voladuras. Elaboración propia.





Tabla 5-7: Tabla de voladuras totales del estudio.

VOLADURAS	Kg / Barreno	Nº Barrenos	Kg / Voladura
1	29,162 Kg	53	1.545,586 Kg
2	34,641 Kg	28	969,948 Kg
3	34,641 Kg	21	727,461 Kg
4	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
5	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
6	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
7	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
8	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
9	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
10	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
11	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
12	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
13	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
14	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
15	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
16	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg
17	34,641 Kg	64	2.217,024 Kg

Según los datos obtenidos en la tabla anterior, el numero total de barrenos a utilizar en este estudio es de 998. En la ultima columna de la tabla se puede observar como ninguna voladura sobrepasa los 2.500 Kg/Voladura, valor que se considera máximo.

Para hacer una estimación del tiempo de voladura, se tendrán en cuenta los siguientes datos: Detonador de 450 ms y retardo del conector de 17 ms entre cada barreno. En este estudio se va a utilizar la voladura 2 a la hora del calculo del tiempo, porque se va a utilizar como rampa de acceso a la voladura. La fórmula que se va a utilizar para el cálculo del tiempo de la voladura será:

Tiempo voladura = tiempo del detonador + (Nº Barrenos -1) x tiempo del conector.



En el caso de la voladura 1, voladura en trinchera, el tiempo que se estima es de  $450+52 \times 17 = 1334$  ms, en el caso de la voladura 3, el tiempo que se estima es de  $450+20 \times 17 = 790$  ms, para el resto de voladuras, al tener la estructura igual, el tiempo será para todas ellas el mismo, el tiempo estimado es de  $450+63 \times 17 = 1521$  ms.

Los cálculos anteriores hacen un total de 23,418 s.

#### 5.3.6. Obras auxiliares.

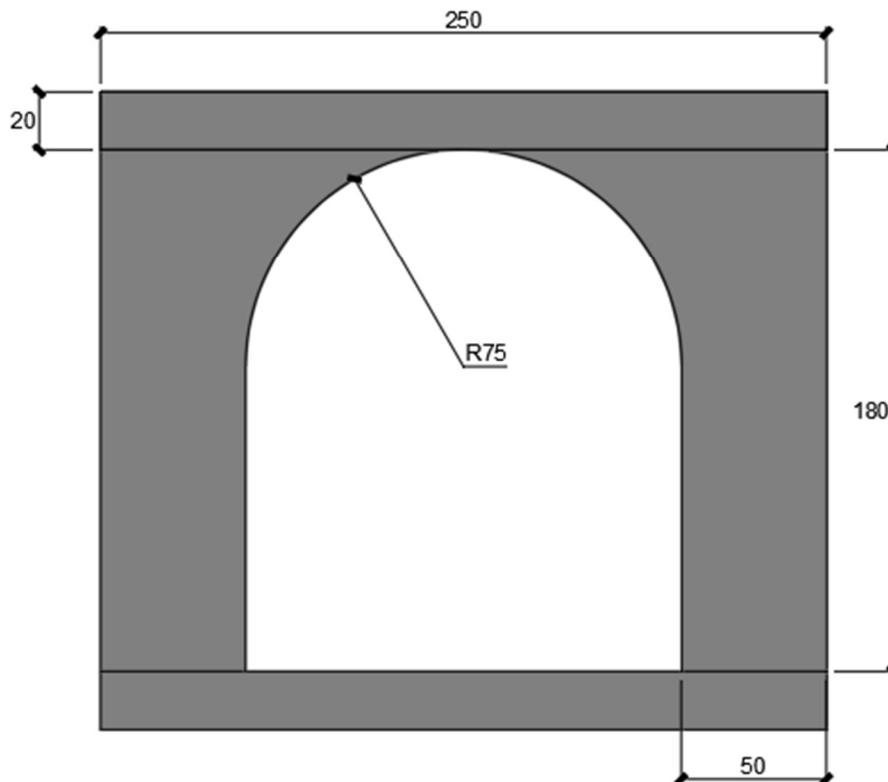
Se han añadido a la presa estudio galerías de evacuación, que como ya se mencionó en apartados anteriores, sirven para evitar filtraciones de agua en la estructura y que esta se deteriore. Estarán formadas por un material poroso que permita el paso de agua hacia ellas.

Las galerías de evacuación se colocan a una profundidad de 4 metros bajo la superficie de la presa, en los cimientos de la misma. Se coloca una galería por la parte interna de la presa y otra por la parte externa, además de otras dos que la atraviesan de un lado al otro en sus extremos.

Las galerías de evacuación están inclinadas respecto del centro de la presa un 2% hacia cada lado para permitir el flujo de agua filtrada hasta los extremos de la presa, donde desaguan en una red drenante, una arqueta.

Cada 20 metros se colocan además a lo largo de toda la presa y atravesándola, unos tubos denominados mechinales, que son los encargados de llevar agua filtrada a las galerías de evacuación.

A continuación, se muestra la sección transversal de una de esas galerías de evacuación acotada.



*Figura 5-14: Sección de una de las galerías de evacuación.*

### 5.3.7. Ejecución.

La ejecución de la obra se ha realizado mediante la colocación y compactación de capas sucesivas de material, es decir, por tongadas. Estas son sensiblemente horizontales, con una pequeña pendiente transversal al eje longitudinal de la presa para facilitar el drenaje del agua de lluvia. Una vez excavado todo el terreno hasta la profundidad buscada, se vierte una primera tongada de material ciclópeo que forma la cimentación de la presa, le sigue otra tongada que comienza con material ciclópeo en la puntera de la presa y continua con material de relleno, salvo el núcleo de la presa que lleva material ciclópeo, y así sucesivamente hasta llegar a la cumbre de la misma. En las presas zonificadas el terraplén se va construyendo de manera simultánea en los distintos materiales integrantes del mismo (núcleo, transiciones, espaldones), subiendo la presa uniformemente con tan solo pequeñas diferencias de altura entre los distintos



materiales. La compactación debe ser especialmente cuidadosa en el contacto del terraplén con los estribos, para evitar zonas débiles, poco densas, que propicien las filtraciones.



## 6. CONCLUSIONES.

España es un país propicio para el aprovechamiento de los recursos hídricos, debido a la climatología que tiene. El desarrollo de las presas en España ha sido progresivo a lo largo del tiempo hasta la actualidad, existiendo un periodo de crecimiento más marcado entre los años 1959 y 1999.

Este gran número de presas suponen un gran aporte de energía hidroeléctrica a la red eléctrica española, cuantificándose porcentualmente este aporte en un 7%, pero además ayudan en la laminación de las avenidas, siendo estas el riesgo natural más importante en España (2.450 inundaciones en los últimos 500 años).

La presa se ha ubicado en la Vega de Pas, en el afluente del río Pas, el Pandillo, el cual nace en Castro Valnera y tiene una longitud de 6,443 Km, con una pendiente en su recorrido de 8,3°.

Se ha elegido establecer una presa de materiales sueltos con núcleo de ciclópeo. Es una presa de 50 metros de altura, con una longitud de eje de 357,739 metros. La anchura de coronación es de 10 metros y tiene una capacidad volumétrica de 1,766 Hm<sup>3</sup>. Este volumen ha sido el resultado de varias opciones de ubicación, que se han estudiado para posteriormente decantarse por la opción con mayor volumetría.

Una de las ventajas de este tipo de presas es su poco impacto visual, ya que, una vez terminada la presa, la ladera exterior se recubre, asemejándola a una ladera intacta. Además, en las presas de materiales sueltos, se aprovecha el material que se extrae en los desmotes del terreno para terraplenar posteriormente la presa y así ahorrar costes.

Finalmente, la ubicación de la presa en la Vega de Pas proporcionara recursos hídricos a la población, ya sea para consumo propio de la población o para el consumo de industrias y del sector primario.



## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] NUCHE DEL RIVERO, R. (ed.). 2002. *Patrimonio geológico de Asturias, Cantabria y País Vasco*. Madrid: ENRESA.
- [2] JIMENEZ SALAS, J. A. (ed.). 1980. *Geotecnia y cimientos III. Cimentaciones, excavaciones, y aplicaciones de la geotecnia*. Madrid: RUEDA.
- [3] SUÁREZ, L. M. (ed.). 1993. *Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos*. Caracas: MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES.
- [4] DÍAZ DEL RÍO, M. (ed.). 2007. *Manual de maquinaria de construcción*. Madrid: MCGRAW-HILL.
- [5] LÓPEZ JIMENO, C. (ed.). 2006. *Manual de construcción y restauración de escombreras*. Madrid.
- [6] AYALA CARCEDO, F. J. (ed.). 1986. *Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros*. Madrid: INSTITUTO GEOLÓGICO Y MENERO DE ESPAÑA.
- [7] LÓPEZ JIMENO, C. (ed.). 2003. *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA.
- [8] RIOS VÁZQUEZ, J. (ed.). 2009. *Curso básico de explosivos*. FUNDACIÓN LUIS FERNANDEZ DE VELASCO.
- [9] *Manual de empleo de explosivos*. UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS.

### 7.1. WEBGRAFÍA.

- [1] [www.energia16.com](http://www.energia16.com)
- [2] [www.ambientum.com](http://www.ambientum.com)
- [3] [www.hispagua.cedex.es](http://www.hispagua.cedex.es)





- [4] [www.energiasrenovablesinfo.com](http://www.energiasrenovablesinfo.com)
- [5] [www.fluidos.eia.edu.co](http://www.fluidos.eia.edu.co)
- [6] [www.orsep.gob.ar](http://www.orsep.gob.ar)
- [7] [www.biblioteca.uns.edu.pe](http://www.biblioteca.uns.edu.pe)
- [8] [www.maquinarialavera.es](http://www.maquinarialavera.es)
- [9] [www.structuralia.com/es](http://www.structuralia.com/es)
- [10] [www.ingeniero-de-caminos.com](http://www.ingeniero-de-caminos.com)
- [11] [www.masqueingenieria.com](http://www.masqueingenieria.com)
- [12] [www.ecovive.com](http://www.ecovive.com)
- [13] [www.endesaeduca.com](http://www.endesaeduca.com)
- [14] [www.iea.org](http://www.iea.org)
- [15] [www.elperiodicodelaenergia.com](http://www.elperiodicodelaenergia.com)
- [16] [www.ree.es](http://www.ree.es)
- [17] [www.chcantabrico.es](http://www.chcantabrico.es)
- [18] [www.vallespasiegos.org](http://www.vallespasiegos.org)
- [19] [www.meteo.fisica.edu.uy](http://www.meteo.fisica.edu.uy)
- [20] [www.meteoillesbalears.com](http://www.meteoillesbalears.com)
- [21] [www.minetad.gob.es](http://www.minetad.gob.es)
- [22] [www.ine.es](http://www.ine.es)
- [23] [www.unesa.es](http://www.unesa.es)
- [24] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [25] [www.flickr.com](http://www.flickr.com)



- [26] [www.zeco.it](http://www.zeco.it)
- [27] [www.chcantabrico.es](http://www.chcantabrico.es)
- [28] [www.redcambera.org](http://www.redcambera.org)
- [29] [www.mapama.gob.es](http://www.mapama.gob.es)
- [30] [www.ropdigital.ciccp.es](http://www.ropdigital.ciccp.es)
- [31] [www.meteocantabria.es](http://www.meteocantabria.es)
- [32] [www.dmacantabria.es](http://www.dmacantabria.es)